

VŠB - Technická univerzita Ostrava
Fakulta stavební
Katedra Geotechniky a podzemního stavitelství

**Posouzení stability dolní části svahu mezi Paskovem a Řepišťem v úseku
ulice Cihelní nad žst. Paskov**

**Assessment of Stability of the Bottom Part of Slope between Paskov and
Řepiště in the section of the Cihelní Street above the railway station Paskov**

Student:

Bc. Pavel Matějka

Vedoucí diplomové práce:

Ing. Martin Stolarík, Ph.D.

Ostrava 2013

Zadání diplomové práce

Student: **Bc. Pavel Matějek**

Studijní program: N3607 Stavební inženýrství

Studijní obor: 3607T035 Geotechnika

Téma: Posouzení stability dolní části svahu mezi Paskovem a Řepištěm v úseku
ulice Cihelní nad žst. Paskov
Assessment of Stability of the Bottom Part of Slope between Paskov and
Řepiště in the section of the Street Cihelní above the railway station
Paskov

Zásady pro vypracování:

1. Geologické a hydrogeologické pomery posuzované lokality
2. Analýza stávajícího stavu sesuvného území, včetně matematického modelu
3. Návrh variantních sanačních opatření
4. Modelová analýza navržených variant sanací
5. Porovnání jednotlivých variant sanací
6. Závěr

Seznam doporučené odborné literatury:

1. Hulla, J., Turcek, P. *Zakladanie stavieb*. Jaga: Bratislava, 1998. ISBN 80-88905-05-2.
2. Vaníček, I., Vaníček, M. *Earth Structures*. Kluwer Academic Publisher Group. ISBN 9781402039638.
3. Coduto, D. *Geotechnical Engineering*. Prentice Hall: New Jersey, 1999. ISBN 0-12-576380-0.
4. Rozsypal, A. *Kontrolní sledování a rizika v geotechnice*. Jaga: Bratislava, 2001. ISBN 80-88905-44-3.
5. Brinkgreve, R.B.J. *Manual Plaxis*. Balkema. ISBN 90 5809 508 8


Formální náležitosti a rozsah diplomové práce stanoví pokyny pro vypracování zveřejněné na webových stránkách fakulty.


Vedoucí diplomové práce: **Ing. Martin Stolarík, Ph.D.**

Datum zadání: 28.02.2013

Datum odevzdání: 02.12.2013




doc. RNDr. Eva Hruběšová, Ph.D.
vedoucí katedry


prof. Ing. Darja Kubečková, Ph.D.
děkanka fakulty

Prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou diplomovou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce Ing. Martina Stolaríka, Ph.D. a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě dne 2. prosince 2013

.....

Bc. Pavel Matějka

Prohlašuji, že

- byl jsem seznámen s tím, že na moji diplomovou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména § 35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a § 60 – školní dílo.
- беру на ве́домі́, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě diplomovou práci užít (§ 35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk diplomové práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí. Souhlasím s tím, že údaje o diplomové práci budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – diplomovou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- беру на ве́домі́, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě dne 2. prosince 2013

.....

Bc. Pavel Matějka

Poděkování

Tímto bych rád poděkoval všem, kteří přispěli ke zpracování této diplomové práce. Zvláštní poděkování patří Ing. Martinu Stolaríkovi, Ph.D. za jeho odborné rady a připomínky. Dále děkuji Ing. Jaroslavu Ryšávkovi, Ph.D. ze společnosti UNIGEO a.s. za konzultace při řešení dané problematiky a dík patří také Ing. Miroslavu Pinkovi za pomoc při realizaci terénních měření.

Anotace diplomové práce

Diplomová práce se zabývá posouzením stability dolní části svahu mezi Paskovem a Řepištěm v úseku ulice Cihelní nad železniční stanicí Paskov. V diplomové práci je uveden popis dané lokality včetně výsledků vlastní průzkumné činnosti. Dále je zde představen matematický model metodou konečných prvků (Plaxis 2D), který řeší stávající stav sesuvu. Na tento model navazuje návrh řešení sanačních prací a modelové analýzy jednotlivých sanačních opatření. Zásadní výsledky jsou prezentovány ve formě stupně stability svahu.

Klíčová slova

Stabilita svahu, sesuv, stupeň stability, matematický model, Plaxis 2D.

Abstract of the thesis

This thesis deals with the assessment of the stability of the bottom part of the slope between the Paskov and Řepiště in the section of the street Cihelní above railway station Paskov. In the thesis there is a description of the site including the results of its own research operations. It is here presented a mathematical model using finite element method (Plaxis 2D), which solve the current state of the landslide. The next mathematical model solves variants of rehabilitation of the landslide. Principal results are presented in the form of degree of slope stability.

Keywords

Slope stability, landslide, degree of stability, mathematical model, Plaxis 2D.

OBSAH

1	ÚVOD	10
2	Sesuv	11
2.1	Faktory porušující stabilitu svahu	12
2.1.1	Změna sklonu svahu	12
2.1.2	Přetížení násypy, haldami nebo skládkami	12
2.1.3	Otřesy, vibrace	12
2.1.4	Změny obsahu vody	12
2.1.5	Působení podzemní vody	13
2.1.6	Činnost mrazu	13
2.1.7	Zvětrávání hornin	13
2.2	Geologicko-morfologický vývoj sesuvů	13
2.3	Rozdělení svahových pohybů	14
2.3.1	Ploužení	14
2.3.2	Tečení	15
2.3.3	Sesouvání	15
2.3.4	Řícení	15
2.3.5	Slézání suti a hákování vrstev	16
2.3.6	Plošné sesuvy svahových sutí a zvětralin	16
2.3.7	Proudové sesuvy	17
2.3.8	Suťové proudy, mury, vyplavování písku	17
2.3.9	Sesuvy v pelitických horninách podél smykových ploch	17
2.3.10	Svahové pohyby vzniklé vytlačováním měkkých hornin	18
2.3.11	Sesouvání pevných hornin skalního podkladu (sesuvy po předurčených plochách)	18
2.3.12	Dlouhodobé deformace horských svahů	18
2.3.13	Skalní zřícení	18
2.3.14	Soliflukce	19
2.4	Sanace sesuvů	19
3	Použité přístrojové vybavení	26

4	Použité softwarové vybavení	27
5	Geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality	28
5.1	Geologické poměry širšího okolí	28
5.2	Hydrogeologické poměry	31
5.3	Geologické a geomorfologické poměry zájmové oblasti	31
6	Analýza stávajícího stavu sesuvného území	35
6.1	Rekognoskace terénu.....	36
6.2	Měření totální stanicí.....	40
6.3	Mapování pomocí GPS.....	41
6.4	Matematický model stávajícího stavu	43
7	Návrh variantních sanačních opatření	48
8	Modelová analýza navržených variant sanací.....	49
9	Závěr	53
10	Seznam použité literatury	55
10.1	Literatura.....	55
10.2	Internetové odkazy	55
11	Seznam obrázků	55
12	Seznam tabulek.....	58

Seznam použitého značení

DP	diplomová práce
ČR	Česká republika
MKP	metoda konečných prvků
PVC	polyvinylchloridu
TS	totální stanice
ŽS	železniční stanice

1 ÚVOD

Jedním z útvarů krajinového reliéfu je také svah, a to svah buďto přírodní, vytvořený geomorfologickými pochody, nebo svah umělý, vytvořený člověkem. Na takové to svahy, ať už tedy přírodní nebo umělé, působí různé vlivy, které mohou mít za následek porušení stability, která může vést až k sesuvu. Pokud se takový sesuv děje v krajině zasažené člověkem, tedy krajině kulturní, může mít za následek ekonomické škody a popřípadě ohrozit i lidské životy. Proto je sledování a zajišťování potencionálních sesuvných území i aktivních sesuvů běžnou součástí geotechnické praxe.

Cílem diplomové práce je zhodnocení stavu konkrétního sesuvu v lokalitě mezi obcemi Paskov a Řepiště v úseku ulice Cihelní nad železniční stanicí Paskov. V zájmové lokalitě se nachází rozsáhlé sesuvné území, které lze rozdělit na horní a dolní část. Jedná se o typický příklad problematického sesuvného území v zčásti zastavěné oblasti, nad železniční tratí a u paty svahu je nově vybudována cyklostezka. Předkládaná práce se bude zabývat pouze dolní částí sesuvného území. Při zpracování daného tématu bylo použito mimo jiné i archivních materiálů.

Druhá kapitola diplomové práce (DP) se zabývá rešerší na téma svahové pohyby a je zde také nastíněna problematika sanace takto postižených svahů. V dalších dvou kapitolách předkládané práce je stručně představeno softwarové a přístrojové vybavení, které bylo při zpracování DP použito. Pátá kapitola se podrobněji zabývá geologickými a hydrogeologickými poměry sledované lokality. V šesté kapitole je detailně zpracována analýza stávajícího stavu sledovaného sesuvu, jsou představena všechna provedená terénní měření včetně výstupů z těchto měření a je sestaven matematický model (MKP), který byl vytvořen pro stabilitní posouzení stávajícího stavu a to včetně extrémní situace. V poslední kapitole DP jsou navržena tři sanační opatření použitelná pro danou situaci, jsou zde opět vyhodnoceny matematické modely (MKP) pro jednotlivá opatření a na základě výstupů z matematických modelů jsou tato opatření srovnána s ohledem na dosaženou stabilitu svahu. V poslední části je hodnocena celá DP a jsou vyvozeny obecné závěry týkající se dané sledované lokality.

2 Sesuv

Svah:

Svah je forma nakloněného terénu, který se vyskytuje okolo vyvýšených míst. Svah může dosahovat různého náklonu v závislosti na jeho příkrostiti. Při pohybu předmětů po svahu se hovoří o tzv. svahových pohybech, které významnou měrou mohou měnit tvář krajiny. Problematiku svahových pohybů na území ČR nastiňuje obrázek 1.

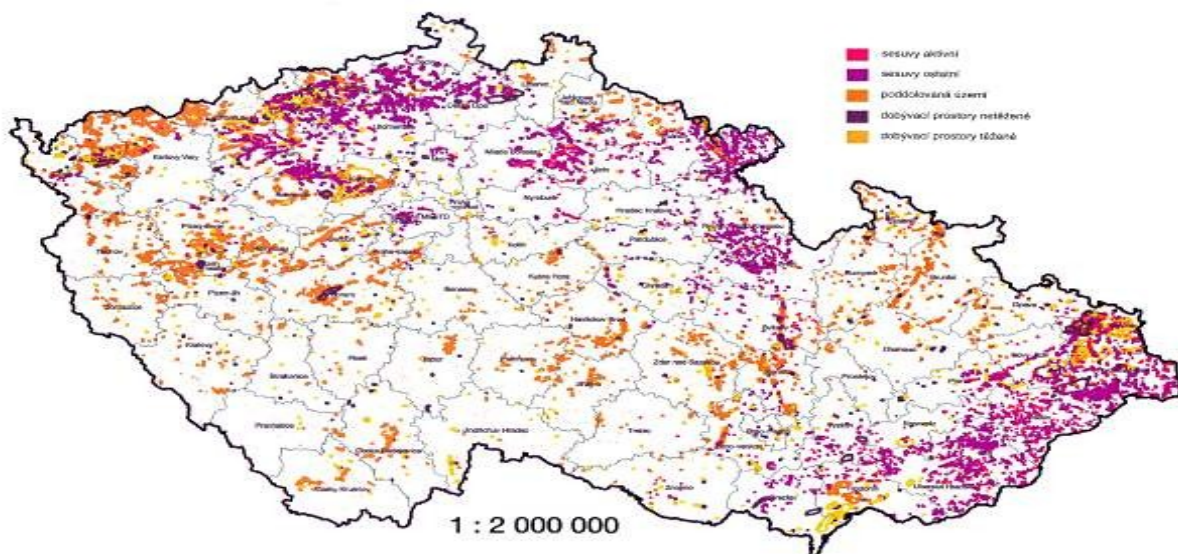
Sesuv:

Sesuvem se rozumí:

- relativně rychlý, krátkodobý klouzavý pohyb horninových hmot na svahu podél jedné nebo více průběžných smykových ploch,
- terénní tvar vzniklý relativně rychlým přemísťováním horninových hmot po svahu. Charakteristické je, že část hmot se nasune na původní terén v předpolí. Aby mohlo k sesuvnému pohybu dojít, musí být splněny morfologické, geologické, hydrogeologické a klimatické předpoklady. K sesuvu dochází, když se poruší stabilita svahu, a to v důsledku přírodních procesů nebo v důsledku lidské činnosti. Sklon svahu náchylného k sesuvu půdy bývá zpravidla větší než 22 stupňů.

Svahové pohyby:

Svahovými pohyby se v širším slova smyslu rozumí přemísťování hornin z vyšších poloh svahů do nižších, podmíněné účinkem zemské gravitace.



Obr. 1: Mapa sesuvných území v ČR (podle: [8]).

2.1 Faktory porušující stabilitu svahu

V následující kapitole budou vyjmenovány hlavní faktory způsobující svahové pohyby.

2.1.1 Změna sklonu svahu

Může být způsobena přirozenou cestou - podemletím paty svahu, erozní činností vodního toku nebo uměle podkopáním svahu. Výjimečně může být změna způsobena i tektonicky. Vzrůst sklonu svahu způsobuje v horninách změnu napětí ve smyku.

2.1.2 Přetížení násypy, haldami nebo skládkami

Způsobuje vzrůst smykových napětí a také nárůst napětí vody v pórech jílovitých zemin, která zmenšují smykovou pevnost.

2.1.3 Otřesy, vibrace

Vytváří v horninách kmity různé frekvence. Dochází k dočasným změnám napětí, které mohou porušit rovnováhu svahu. U spraší a málo zpevněných písků může dojít v důsledku otřesu k porušení intergranulární vazby, u zvodnělého jemného písku a citlivých písčitých jílu může dojít k přemístění nebo pootočení zrn, které může vyvolat náhlé ztekucení zeminy.

2.1.4 Změny obsahu vody

- Dešťová voda a voda z tajícího sněhu se dostává do puklin, v nichž vzniká hydrostatický tlak. V zeminách vzrůstá tlak vody v pórech a tím klesá pevnost ve smyku. Periodicky se opakující sesuvné pohyby se vyskytují právě v letech, kdy jsou nadprůměrně vydatné dešťové srážky.
- Rozdíl elektrického potenciálu způsobuje elektroosmotické pochody na kluzné ploše mezi dvěma různými vrstvami.
- Vysychání a smršťování jílovitých zemin v období sucha způsobuje vznik hlubokých trhlin, které zmenšují soudržnost hornin na svazích a umožňují vnikání vody do jílovitých hornin.

2.1.5 Působení podzemní vody

- Proudící podzemní voda působí tlakem na částice zeminy, čímž zhoršuje stabilitu svahu. Rychlé změny vodní hladiny např. na březích umělých vodních nádrží způsobují vzrůst vodního tlaku v pórech, což se může projevit ztekucením písčitých zemin.
- Podzemní voda může vyplavit rozpustný tmel, čímž se zeslabí intergranulární vazba a zmenšuje se pevnost ve smyku.
- Proudící podzemní voda v jemném písku a siltu vyplavuje částice zeminy ze svahu. Touto formou eroze vznikají podzemní (sufózní) dutiny, které narušují stabilitu svahu.
- Napjatá hladina podzemní vody působí na nepropustné vrstvy v nadloží vztlakem.

2.1.6 Činnost mrazu

Mrznutím se rozšiřuje objem vody v trhlinách, ty se rozšiřují a podporují vznik nových trhlin. V rozpukaných horninách je menší soudržnost částic. V jílovitých a jílovitopísčitých zeminách se tvoří ledové vrstvičky. Při jejich tání se zvětšuje obsah vody v povrchové vrstvě a ta rozbředá. Mrznutím vody na povrchu se zhoršuje odtok vody ze svahu, a tím se postupně vzdouvá hladina podzemní vody až k porušení rovnováhy.

2.1.7 Zvětrávání hornin

Mechanické i chemické zvětrávání porušuje postupně soudržnost hornin. U mnohých sesuvů některé známky nasvědčují, že dalším faktorem jsou i chemické změny hornin (hydratační pochody, výměny iontů v jílech) vzniklé působením prosakující vody. Náchylnost k sesouvání se projevuje v oblastech, v nichž se vyskytují např. glaukonitické pískovce a jíly, tedy převážná většina oblasti moravských Karpat. [1]

2.2 Geologicko-morfologický vývoj sesuvů

Při vzniku a vývoji svahových pohybů je důležitá funkce času. Některé faktory se postupem doby mění, takže každý svahový pohyb se postupně vyvíjí. Nejprve se projevují první známky porušení rovnováhy a následně vznikají trhliny v horní části svahu. Pak nastává vlastní pohyb uvolněných hmot a jejich postupné ukládání při úpatí svahu. Podle vývoje můžeme rozlišovat svahové pohyby v počátečním, pokročilém a závěrečném stádiu.

Podle stáří se rozeznávají svahové pohyby současné (recentní) a staré, z nichž ty, které se za dnešních klimatických a morfologických podmínek mohou opakovat, se nazývají fosilní. Pokud je starší sesuv překryt mladšími uloženinami, je nazýván jako pohřbený sesuv.

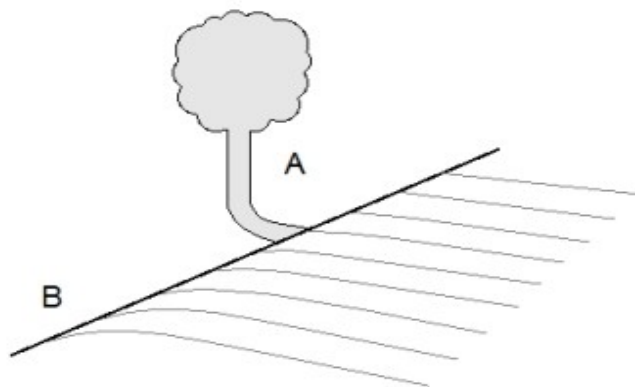
Pro technickou praxi je důležité rozdělení svahových pohybů podle stupně stabilizace na aktivní (živé), potenciální (dočasně uklidněné) a stabilizované (trvale uklidněné). Aktivní sesuvy jsou charakteristické čerstvými výraznými tvary, neporušenými povrchovým ronem a erozí. Stromy jsou různě vychýlené z původní polohy, povrch území je roztrhán a v trhlinách se objevují napjaté kořeny. Technické objekty bývají porušeny. Sesuvy potenciální bývají zarostlé nebo porušeny erozí. Stopy posledních pohybů bývají málo znatelné. Příčiny vzniku dosud trvají, takže pohyb se může znovu obnovit. [1]

2.3 Rozdělení svahových pohybů

Velká rozrůzněnost sesuvných jevů poskytuje mnoho kritérií pro jejich klasifikaci. Mohou být tříděny podle způsobu a rychlosti pohybu, podle tvaru smykové plochy, podle druhu sesouvajícího se materiálu, atp. Zažitou klasifikací v našich podmínkách je dělení svahových pohybů podle mechanismu a rychlosti pohybu. Vymezují se základní čtyři typy.

2.3.1 Ploužení

Ploužení (creep) zahrnuje širokou škálu pomalých pohybů od slézání svahových sutí až k dlouhodobým gravitačním deformacím horských svahů. Projevuje se řádově v cm za rok. Ploužení je vyvoláno řadou jevů ve zvětralinách: střídavé zamokřování a vysušování, růst jehlového ledu, zahřívání a ochlazování, působení živočichů nebo zemětřesné pohyby. Všechny tyto jevy způsobují tzv. vzdouvání.



Obr. 2: Projevy ploužení na svahu - opilé stromy (A) a hákování vrstev (B) (podle: [1]).

2.3.2 Tečení

Tečení představuje svahový pohyb, při kterém dochází ke stékání materiálu po svahu, ponejvíce v podobě proudu, v důsledku nasycení svahovin vodou; při tečení dochází k turbulentnímu proudění částic; zpravidla se jedná o rychlý pohyb. Tečení se podle druhu materiálu rozděluje na laviny, blokovo-bahenní proudy, zemní proudy a bahnotoky. Soliflukce je nejpomalejší typ tečení; jedná se o velmi pomalý pohyb vodou nasycených svahovin, který postihuje i velmi mírné svahy (o sklonu kolem 1°); s. je aktivní zejména v chladných oblastech s výskytem permafrostu (trvale zmrzlá půda).

2.3.3 Sesouvání

Sesouvání představuje pohyb svahových hmot podél smykové plochy; částice se pohybují v bloku jako jeden celek. Sesuvy se dělí podle tvaru smykové plochy na laterální (rovná smyková plocha) a rotační (konkávně prohnutá smyková plocha). S. se morfologicky dělí na smykovou plochu, odlučnou hranu, sesuvnou akumulaci a čelo. Mělké sesuvy postihují pouze svahoviny (hloubka 2-3 m), hluboké sesuvy postihují i skalní podloží.

2.3.4 Řícení

Řícení představuje svahový pohyb, při kterém dochází k volnému pádu úlomku horniny bez kontaktu s terénem. Nejvíce se odehrává na skalních stěnách vysokých horských svahů (tzv. skalní řícení). Suťová lavina se podobá se blokovo-bahennímu proudu, ale není saturovaná vodou.

Převážná část sesuvů moravských Karpat se týká kvartérních pokryvných uloženin. Sesuvy v horninách předkvartérního podkladu se rozlišují podle charakteru postižených hornin a podle typu pohybu:

- a) Svahové pohyby pokryvných útvarů (svahových sutí, hlín a zvětralin). Vznikají hlavně působením povětrnostních činitelů:
 - a) slézání sutí a hákování vrstev,
 - b) plošné povrchové sesuvy,
 - c) proudové sesuvy,
 - d) suťové proudy, mury, vyplavování písku.

b) Sesuvy v jílovitých horninách (jílech, slínech, jílovcích, jílovitých břidlicích apod.):

- a) podél válcových smykových ploch,
- b) podél složených smykových ploch,
- c) svahové pohyby vzniklé vytlačováním měkkých hornin.

c) Svahové pohyby pevných skalních hornin

- a) po předurčených plochách (plochách vrstevnatosti, břidličnatosti, puklinách nebo dislokacích),
- b) dlouhodobé deformace horských svahů,
- c) skalní zřícení.

2.3.5 Slézání suti a hákování vrstev

Slézání suti je výsledek různých drobných pochodů, které vedou k pomalému plíživému pohybu suti po svahu. V zimě je to nakypření suťových úlomků a zdvižení povrchových vrstev mrazem, při jarním tání se jednotlivé úlomky působením gravitace po svahu posunou. Volné kamenité suti se pohybují po svahu hlavně změnami teploty.

Povrchové vrstvy jílovitých sutí a zvětralin se posunují po svahu účinkem pomalého plastického přetváření, které má charakter ploužení (creep). Při těchto pohybech se zpravidla nevytváří zřetelná smyková plocha, ale širší zóna, v níž dochází k mnoha dílčím posunům. Pohyby jsou omezeny na povrchovou vrstvu, jejíž mocnost nepřesahuje zpravidla hloubky, do níž zasahují změny teploty a vlhkosti způsobené klimatickými vlivy během roku.

Posouváním povrchových vrstev suti vzniká hákování vrstev. Mezi pohybující se vrstvou suti a povrchem skalního podkladu působí tření, které způsobuje postupné ohýbání vrstev. Vyvlečené a roztrhané podložní vrstvy se stávají součástí svahových uloženin, jejichž mocnost se tak zvětšuje. Na povrchu vyvlečených zvětralých hornin se vytvořily staré smykové plochy, na nichž se projevuje náchylnost k sesouvání.

2.3.6 Plošné sesuvy svahových sutí a zvětralin

Plošné suťové sesuvy mohou dosáhnout velkých plošných rozměrů, ale mocnost porušeného svahového pokryvu je obvykle malá, jen několik metrů. V době sucha bývají plošné sesuvy většinou v klidu, ale k novým pohybům dochází za deštivého počasí a v době jarního tání, zejména po dlouhotrvajícím mrazivém období. Po hlubokém promrznutí jsou povrchové vrstvy jílovitopísčitých a hlinitých sutí obohacovány vodou, která vzlíná k povrchu ze spodních, dosud nepromrzlých vrstev. Tato voda postupně namrzá ve tvaru

ledových vrstviček, které při tání způsobují rozbředání povrchové vrstvy. Tento typ sesuvů je velmi často rozšířen v oblasti moravských Karpat.

2.3.7 Proudové sesuvy

Plošné sesuvy i sesuvy podél zakřivených smykových ploch mohou za určitých podmínek přecházet do sesuvů proudových, jestliže se sesuvné hmoty hromadí v erozní rýze potoka a při dostatečném provlhčení se pohybují k údolí jako úzký proud na značnou vzdálenost. Podle druhu materiálu a jeho konzistence se rozdělují na suťové, zemní a bahenní proudy. Poloha sesuvu je předurčena rýhou potoka nebo erozní brázdou. Pohyb je obvykle vyvolán nadměrnými srážkami. Proudové sesuvy mají proti plošným sesuvům zpravidla rychlejší průběh. Tento typ sesuvů je opět velmi často rozšířen v oblasti moravských Karpat.

2.3.8 Suťové proudy, mury, vyplavování písku

Rychlé pohyby (stékání) svahových sutí při náhlých vodních přívalech. Vznikají v sypkých, málo soudržných horninách, do nichž se vody rychle vsakují. Tvoří se zpravidla nad hranicí lesů, v roklicích vyplněných úlomky hornin, které mohou být za přívalových dešťů vodou strženy do údolí.

2.3.9 Sesuvy v pelitických horninách podél smykových ploch

Vznikají v nezpevněných nebo málo zpevněných jílech, slínech, jílovcích a jílovitých břidlicích na svazích překročením pevnosti ve smyku hluboké sesuvy podél nově vytvořených zakřivených válcových smykových ploch. Ve stejnorodých jílovitých horninách lze tvar smykové plochy pokládat za rotační válec. Poněvadž je smyková plocha zakřivena, dochází při sesouvání k rotaci. Odlučná oblast má typický konkávní tvar a sesuté hmoty se hromadí u paty svahu. Na sesuvu vznikají příčné trhliny, v nichž se hromadí voda, která zhoršuje rovnovážné podmínky svahu. Často bývá sesutá hornina tak nasycena vodou, že splaz má charakter zemního proudu.

Rozsáhlé sesuvy v pelitických horninách mají zpravidla v horní části nově vytvořené smykové plochy, kdežto v dolní části se sesuvné hmoty pohybují po některé vrstvě o menší pevnosti, která má vzhledem k pohybu vhodnou polohu. Jde pak o sesuvy se složenou smykovou plochou, které tvoří přechod k sesuvům po předurčených plochách. Velké sesuvy tohoto typu jsou známy z neogénu moravských úvalů.

2.3.10 Svahové pohyby vzniklé vytlačováním měkkých hornin

Náleží sem kerné sesuvy, vytlačování měkkých pelitických hornin na dně erozních údolí nebo umělých zářezů a některé poruchy náspů založených na neúnosném podloží. Jsou velmi variabilní v povaze a tvaru, jejich forma závisí na místních geologických a morfologických podmínkách.

2.3.11 Sesouvání pevných hornin skalního podkladu (sesuvy po předurčených plochách)

K sesouvání po vrstevních spárách, puklinách nebo dislokacích obvykle dochází tehdy, jsou-li vrstvy nebo jiné plochy dělitelnosti ukloněny po svahu a je-li porušena jejich souvislost při úpatí svahu. Velmi časté jsou v oblasti moravských Karpat. Karpatské potoky a řeky mají většinou velký spád, takže se rychle zařezávají do měkkých hornin skalního podkladu. Prohlubování údolí postupuje tak rychle, že sklon horských úbočí se nestačí přizpůsobovat erozní činnosti toku. Tak vznikají svahy s příkrým sklonem, často strmějším, než je sklon vrstev. Jsou-li vrstvy ukloněny k údolí, nastávají příznivé podmínky pro vznik sesuvů po vrstevních plochách. Velmi často bývá způsobeno také zásahem do přirozených poměrů svahu, buď stavebními pracemi, nebo při těžbě nerostných surovin.

2.3.12 Dlouhodobé deformace horských svahů

Vedle náhlých sesuvů po předurčených plochách se vyskytují také pomalé dlouhodobé pohyby hornin na horských svazích, které mají charakter ploužení. Označují se jako gravitační vrásnění nebo gravitační posuny. Vykytují se v horninách, které jsou schopné plastického přetváření dílčími posuny podél elementárních ploch dělitelnosti bez vytvoření průběžné smykové plochy. Tyto jevy byly popsány v tektonicky mladých pohoří Karpat nebo Alp.

2.3.13 Skalní zřícení

Náhlé říťivé pohyby uvolněných bloků nebo komplexů pevných hornin ze strmých skalních stěn nebo ze stropů jeskyň. Převládá volný pád a pohyb probíhá velmi rychle. Kameny a bloky se hromadí na úpatí svahu jako suťové kužely, které mohou splývat v rozsáhlé osypy.

2.3.14 Soliflukce

Odtékání rozmrzlé povrchové vrstvy po zmrzlém podkladu. Soliflukční jevy jsou známy hlavně ze subarktických a vysokohorských oblastí. Povrchové vrstvy jsou zde hluboko promrzlé a za krátkého letního tání rozmrzají jen do malé hloubky (asi 0,5 m). Rozbředlé povrchové vrstvy se pohybují jako hustá kašovitá hmota i na velmi mírných svazích po zmrzlém podkladu. I v našich klimatických poměrech dochází někdy k soliflukci na horských svazích za zvlášť nepříznivých podmínek při náhlém jarním tání, ovšem jen v menším měřítku a zasahuje do malé hloubky. [1]

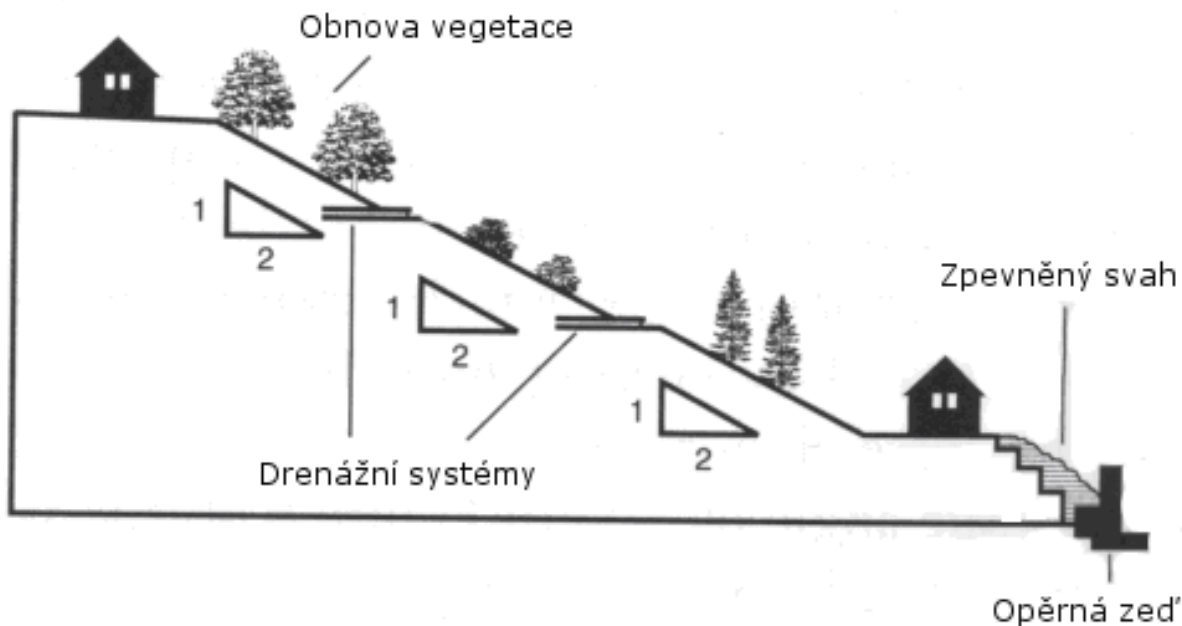
2.4 Sanace sesuvů

K prvním záchranným opatřením při sesuvech patří:

- zachycení a odvedení povrchové vody přitékající k sesuvnému území nebo vyvěrající v odlučné oblasti,
- vyčerpání vody ze všech studní na sesuvném území a odvedení vody z bezodtokých depresí,
- zaplnění všech otevřených trhlin, do kterých by mohla přitékat povrchová voda.

Sanační metody je možno rozdělit podle principu realizace a způsobu působení:

- úprava tvaru svahu,
- odvodnění svahů,
- sanace sesuvů rostlinným porostem,
- technické stabilizační opatření,
- zpevňování hornin.



Obr. 3: Několik možností úprav svahu vedoucích ke snížení rizika svahových pohybů (podle: [10]).

Úprava tvaru svahu

Zmenšením hmotnosti hornin v odlučné oblasti nebo zvětšením hmotnosti v akumulární oblasti existujícího nebo očekávaného sesuvu se stabilita svahu zvětší.

Výhodou je, že je možné k němu přistoupit okamžitě, a to bez předcházejících, časově náročných průzkumných prací.

Sanační metody založené na úpravě tvaru svahu se realizují jako:

- přetížení násypu,
- odlehčení svahu,
- zmírnění sklonu svahu,
- přemístění materiálu z odlučné části do akumulární části,
- odstranění sesutých mas.

Odvodnění sesuvů

V zásadě jde o dva způsoby odvodnění:

- povrchové,
- podpovrchové.

Povrchové odvodnění:

Po částečném stabilizování sesuvu se zřizují pro odvedení dešťových a sněhových vod otevřené příkopy. Současně se zřizováním příkopů je potřebné povrch území zhruba srovnat, bezodtokové deprese vyrovnat, trhliny zatěsnit, aby povrchová voda mohla plynule odtékat.

Vedle povrchové sítě příkopů na vlastním sesuvném území se někdy zřizují příkopy nad odlučnou oblastí, které mají za úlohu zachytit a odvést vodu přitékající z okolí do ohroženého území. Obvodové příkopy jsou vydlážděné nepropustným materiálem.

Podpovrchové odvodnění:

Tento způsob odvodnění patří k velmi účinným prostředkům na zvětšení stability svahu. Jeho nevýhodou je, že ho můžeme spolehlivě navrhnout až po skončení geologického a hydrogeologického průzkumu. K odvodnění se používají vrty horizontální, vertikální, odvodňovací štoly a kombinace předchozího.

a) Odvodnění drenážními štolami

V minulosti se tato metoda úspěšně používala při budování velkých dopravních staveb. Štola poskytovala mnoho informací o geologické stavbě území a hydrogeologických poměrech. Velkou výhodou byla možnost zřizování dalších drenážních vrtů v různých směrech. V dnešní době byly drenážní štoly již zcela nahrazeny horizontálními odvodňovacími vrty. Náklady na odvodnění pomocí drenážních štol jsou desetkrát vyšší než při použití horizontálních odvodňovacích vrtů.

b) Odvodnění drenážními příkopy

V minulosti se tato metoda úspěšně používala při budování velkých dopravních staveb. Štola poskytovala mnoho informací o geologické stavbě území a hydrogeologických poměrech. Velkou výhodou byla možnost zřizování dalších drenážních vrtů v různých směrech. V dnešní době byly drenážní štoly již zcela nahrazeny horizontálními odvodňovacími vrty. Náklady na odvodnění pomocí drenážních štol jsou desetkrát vyšší než použití horizontálních odvodňovacích vrtů.

c) Odvodnění drenážními příkopy

Odvodnění drenážními příkopy je velmi vhodné pro odvodnění mělké podzemní vody. Jednoduchá a účinná metoda spočívá ve vybudování rýh vedených nejčastěji po vrstevnici. Dno rýhy je opatřeno drenážním potrubím a poté zasypáno štěrkem. Hloubka rýhy bývá většinou kolem tří metrů. Výhodou této metody je rychlost jejího vybudování a její poměrně vysoká účinnost. Nevýhodou je částečná ztráta zachycené vody a nebezpečí okamžitého zavalení rýhy již v průběhu hloubení. Eliminaci je možné snížit vhodným používáním perforovaných a neperforovaných hadic. V místech přítoků vody je nutné používat perforované pažnice, v místech, kde se voda pouze odvádí, pak používat plné pažnice.

d) Odvodnění drenážními žebry

Jedná se o rýhy vykopené po spádnicí, které jsou vyplněny štěrkem. Mohou být ochráněny geotextilií a na jejich dně může být umístěno drenážní potrubí. Nejčastěji plní žebra pouze funkci drenážní, nebo pokud zasahují pod smykovou plochu, částečně stabilizují sesuv. Obvyklá vzdálenost žebor je šest metrů, anebo se pro určení potřebné vzdálenosti použije stabilitního výpočtu. Často bývají drenážní žebra doplněna drenážními příkopy, které vodu bezpečně odvedou mimo svah. Běžně se hloubí bagrem do hloubky kolem 5 metrů. Rýhy je však možné hloubit i drapákem do hloubek několika desítek metrů. Taková rýha má pak charakter podzemní stěny. Tato varianta je velmi účinná, ale finančně a technologicky náročná. Proto se realizuje pouze zřídka. Jako nevýhodná se tato metoda ukazuje v případě pokračujícího svahového pohybu, neboť dochází k destrukci drenážních žebor.

e) Odvodnění drenážní maskou

Odvodnění drenážní maskou je systém velmi podobný odvodnění drenážními žebry. Spočívá ve vybudování štěrkové vrstvy po celé délce svahu. Pro zajištění větší stability je možné použít vhodnou geotextilii. Pro svoji nákladnost a náročnost je tento systém používán velmi zřídka.

f) Odvodnění artézskými vrtů

Je metoda, která se hodí pro odvodnění území s napjatou hladinou. Po zhotovení vrtu voda vystoupá na svoji piezometrickou výšku a odtud je drenážními příkopy bezpečně odvedena mimo těleso svahu. Použití tohoto principu vyžaduje zvláštní geologické podmínky a systém artézských vrtů je zřizován pouze v ojedinělých případech.

g) Odvodnění ztracenými vrtů

Odvodnění ztracenými vrtů spočívá v gravitačním odvedení vody z vyšších horizontů do níže položených kolektorů pod smykovou plochou. Také pro použití této metody jsou nutné specifické a příznivé geologické poměry, a proto se realizuje pouze zřídka.

h) Odvodnění klasickými horizontálními odvodňovacími vrtů

Jedná se o vrtů malého průměru 150 - 200 mm, dlouhé až 300 metrů. Nejčastěji jsou vrtány dovrchně s doporučeným sklonem 4°. V ideálním případě jsou vedeny po smykové ploše. Vrtů bývají osazeny perforovanými výpažnicemi, které při vrtání slouží zároveň jako ochrana vrtu. Takto zhotovené vrtů jsou finančně nákladnější, ale mají větší odolnost proti pohybu svahu. Alternativou k ocelové výpažnici jsou výpažnice plastové. Tyto jsou sice levnější, ale náchylnější k poškození. Perforaci tvoří vrtané díry o průměru 3 - 5 mm a jejich celková plocha je až 10% z plochy vrtu. V některých případech se používá šterbinová perforace o délce šterbiny 50 - 100 mm a šířce 1 - 2 mm. U krátkých vrtů se perforace provádí pouze v horní polovině výpažnice, tím se zabrání možnosti zpětného vsakování vody do svahu. U dlouhých vrtů je technicky obtížné správně osadit pažnici ve vrtu, a proto se provádí perforace po celém obvodu pažnice.

Nedílnou součástí při realizaci vrtu je závěrečná úprava jeho zhlaví. Vyústění vrtu bývá většinou zabudováno do šachtice, tím je zabráněno promrzání vrtu v zimních měsících a zároveň je k vrtu umožněn přístup pro zjištění a monitoring množství odtékající vody. Přístup k vrtům by měl být umožněn pouze oprávněným osobám. Ponechání ocelové výpažnice bez zabezpečení je totiž rizikové z hlediska jejího zcizení nebo zdemolování a následné finančně velmi nákladné opravy vrtu.

Horizontální odvodňovací vrtů by měly být vedeny až k nejpropustnější hornině. V opačném případě se jejich účinnost značně snižuje. Technologie provádění vrtů je závislá hlavně na jejich délce. Některé krátké vrtů lze realizovat pouhým zatlučením perforované trubky do svahu. Delší vrtů jsou nejčastěji prováděny pomocí valivého dláta, které za sebou

táhne perforované trubky. To znamená, že zároveň probíhá jak vrtání, tak pažení. Po skončení prací dláto zůstává ve vrtu.

i) Odvodnění subhorizontálními odvodňovacími vrty řízeným vrtáním

Vznik souvisí se zdokonalením vrtacích mechanismů. Při vrtání lze pohyb korunky přesně řídit a tím je umožněno vrtání po smykové ploše. Pohyb korunky lze řídit jak v horizontálním, tak i ve vertikálním směru. Zřizování subhorizontálních odvodňovacích vrtů má dvě části. První je samotné vrtání. Velkou výhodou je, že vrtání může probíhat z míst za odlučnou hranou i z míst pod čelem sesuvu. Je možné tedy vrtat do vrchně i úpadně. Po provrtání celého svahu následuje druhá etapa. Ke korunce jsou připevněny předem připravené perforované hadice z polyvinylchloridu (PVC) a při zpětném pohybu korunky jsou spolu s rozšiřováním vrtu zatahovány do vrtu. Nedílnou součástí je opět závěrečná úprava vrtu a odvedení nashromážděné podzemní vody. Velkou výhodou subhorizontálních vrtů je jejich snadná kontrola a údržba.

j) Odvodnění sifonovými drény

Tato metoda odvodnění je založena na principu sifonu. Do svislých vrtů jsou vloženy násoskové sifonové trubice o průměru 10 - 30 mm. Vrty jsou uspořádány v řadě s obvyklou roztečí 3 - 6 m a jsou dostatečně hluboké pro zajištění požadovaného snížení hladiny podzemní vody. Umožněno je odvodnění až do hloubek 8 - 10 m pod terénem.

Funkčnost systému je zajištěna jednak pomocí stálé vodní rezervy ve vrtech a dále pomocí speciálních regulačních výtokových kusů, umístěných na dolním výtokovém konci každé sifonové trubice ve společné výtokové šachtě. Při zvýšení hladiny podzemní vody ve vrtu nad srovnávací rovinu je proudění sifonovou trubicí okamžitě obnoveno a voda je tak odváděna do výtokové šachty a dále mimo zájmové území. Při poklesu vody zpět ke srovnávací rovině je proudění zastaveno při zachování vodního sloupce v sifonové trubicí.

Zavzdušnění systému a ztrátě funkčnosti je zamezeno použitím automatických regulačních výtokových kusů, které zastavují proudění při minimálních hodnotách průtoků. Systém je vhodný do prostředí s propustnostmi menšími než 10^{-5} m.s^{-1} a přítoky $0 - 0,3 \text{ l.s}^{-1}$ na drén. Nevýhodou systému je nemožnost jeho použití ve svazích s malým sklonem. Nezbytná je také řádná a pravidelná údržba všech komponentů. Při jejím zanedbání dochází k rychlému zanášení jednotlivých dílů a celé odvodnění se stává nefunkční.

k) Odvodnění svahu pomocí vegetačního porostu

Odvodnění svahu pomocí rostlinného porostu je účinné hlavně u mělkých sesuvů. U hlubokých sesuvů je hlavním úkolem rostlin zabránit pronikání povrchové vody do svahu. Kořeny stromů a rostlin spotřebovávají část podzemní vody a tím přispívají ke stabilitě a vysoušení svahů. Při vhodné volbě vegetačního pokryvu mohou kořeny zasahovat velmi hluboko, a tak zvyšovat mechanickou pevnost, snižovat množství vody ve svahové deformaci a zabráňovat svahovému pohybu. Pro stabilizaci svahu jsou tedy nejvhodnější stromy s velkou spotřebou vody a velkým výparem. Mezi takové patří zejména listnaté dřeviny, především olše, topol, jasan a bříza. Velké problémy může naopak přinést osazení svahu smrkovým porostem, který má mělké kořeny, nepříznivě narušuje strukturu půdy a svým rychlým růstem zatěžuje povrch svahu. [3, 4]

Technické stabilizační opatření

Mezi technické stabilizační opatření zařazujeme různé opatření technického charakteru, jako například:

- stabilizační žebra,
- zárubní a opěrné zdi,
- kotvy,
- pilotové stěny,
- rozrušování smykových ploch trhavinami. [1]

3 Použité přístrojové vybavení

Pro provádění terénní práce byly pořízeny dvě zařízení firmy Leica. Za účelem sestavení charakteristických řezů byla použita totální stanice LEICA TPS1200 (Obr. 4). V terénu bylo za pomoci této stanice a výtyčky postupně zaměřeno potřebné množství nivelačních bodů, na základě nichž bylo sestaveno pět charakteristických řezů. Pro následné zaměření detailů terénu bylo použito zařízení LEICA ATX1230GG - GPS senzor, přijímající signál z družic GPS i GLONASS, které umožňuje měření v reálném čase s příjmem korekcí ze sítě referenčních stanic CZEPOS (Obr. 5).



Obr. 4: LEICA TPS1200



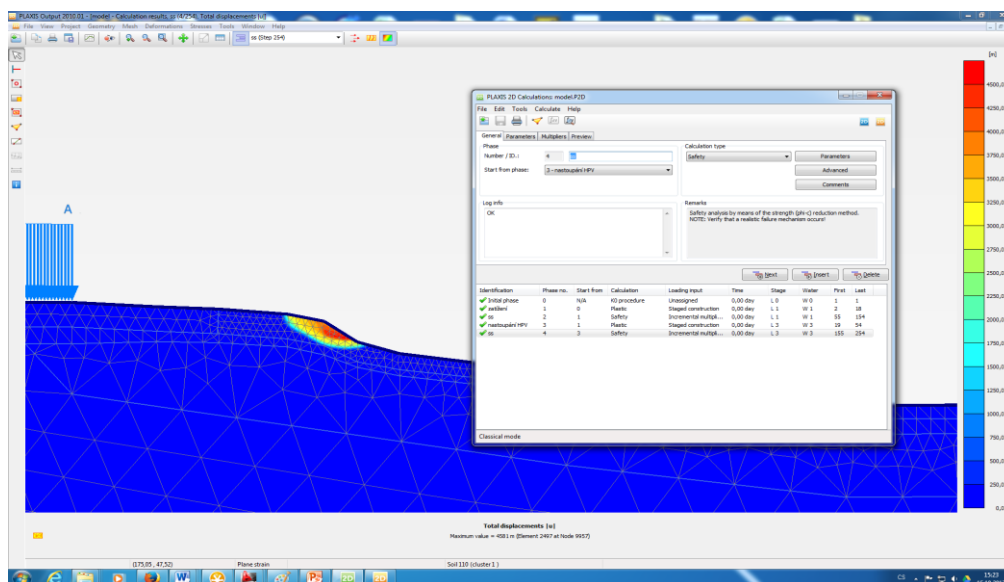
Obr. 5: LEICA ATX1230GG

4 Použité softwarové vybavení

Pro stabilitní posouzení sesuvného území byl použit programový systém Plaxis 2D. Tento programový systém byl speciálně vyvinutý pro deformační a stabilitní analýzu geotechnických úloh a je založený na numerické metodě konečných prvků. Jedná se o komplexní výpočtový systém, který umožňuje simulaci nelineárního chování zemin, dává možnost modelovat jak hydrostatické, tak i hydrodynamické účinky vody v zeminách a také vzájemnou interakci mezi konstrukcí (výztuž, kotvy, geotextilie, stěny) a zeminou.

Součástí programu je automatický generátor sítě konečných prvků s možností globálního nebo lokálního zjemnění. Kromě trojúhelníkových prvků s šesti uzly (s polynomem druhého stupně pro trojúhelníkové prvky), jsou k dispozici také patnácti uzlové trojúhelníkové prvky s kubickým polynomem.

Programový systém umožňuje simulovat také časový postup vytváření určité geotechnické situace pomocí aktivování respektive deaktivování skupin elementů. Stupeň stability je v tomto programovém systému definovaný jako poměr mezi dosaženou (vrcholovou) smykovou pevností a minimální smykovou pevností nutnou pro udržení rovnováhy.



Obr. 6: Prostředí programového systému Plaxis 2D.

5 Geologické a hydrogeologické poměry posuzované lokality

Zájmovým územím je sesuv v lokalitě mezi obcemi Paskov a Řepiště v úseku ulice Cihelní nad železniční stanicí Paskov. Toto území se nachází v předpolí Beskyd, na severním okraji příborské pahorkatiny. Geologicky jej tvoří (mimo kvartérní pokryv) pokryvy vnějšího flyšového pásma Karpat, přesunuté přes miocénní předhlubeň ve dvou fázích štýrské orogeneze. Zvodnění v popisované oblasti je vázáno na čtyři hlavní vodonosné systémy

5.1 Geologické poměry širšího okolí

Širší okolí zájmové oblasti je z hlediska geologické stavby velice pestré a je budováno horninami stáří od karbonu až po kvartér.

Kvartérní sedimenty

Kvartérní sedimenty pokrývají téměř souvisle celou zájmového území a vyskytují se v mocnosti 3 - 15 m.

Během pleistocénu bylo území celkem dvakrát zaledněno kontinentálním ledovcem, a to v době halštrovského (mindelského) a sálského (risského - R 1) zalednění. V dobách těchto zalednění byly z větší části odstraněny nebo přemístěny sedimenty starého pleistocénu, takže se z nich zachovaly jen menší reliktů. Většinou to jsou fluvialní štěrky bez nordických hornin.

Sedimenty halštrovského (mindelského) zalednění jsou reprezentovány šedými souvkovými hlínami. Do kataglaciální fáze halštrovského zalednění spadá sedimentace starší části hlavní ostravské terasy. Tato terasa je tvořena zahliněnými, většinou limonitizovanými fluvialními štěrky z domácích hornin - valouny nordických hornin tvoří jen slabou příměs.

V době následujícího sálského zalednění se uložily glaciální sedimenty zastoupené hnědožlutými souvkovými hlínami a také glacialakustrinními písky a jíly a glaci-fluvialními štěrkopísky (tzv. řepištěská plošina). V době největšího rozšíření sálského kontinentálního ledovce byly překryty jezerní sedimenty bazální morénou. Při odtávání ledovce došlo na některých místech (zvláště v depresích) k sedimentaci glacialakustrinních písků ústupové fáze. V kataglaciální fázi sálského zalednění, která je charakteristická mohutnou erozí, redeponovaly vodní toky v dnešních údolích převážnou část souvrství ledovcových sedimentů a obnažily tak předsálskou fluvialní štěrkovou akumulaci. Většina teras tak má charakter erozních teras (např. ostravská, paskovská).

Z období zalednění mladšího rissu - R 2 je znám mladorisský sprašový pokryv, na němž bývá lokálně vyvinuta podle J. Macouna (1962) interglaciální fosilní půda. V době viselského (würmského) glaciálu došlo v jeho stadiálních obdobích k eolické sedimentaci. Nejrozšířenějším druhem těchto sedimentů jsou sprašové hlíny. Jako recentní půdní typ je vyvinut na nejmladším pokryvu sprašových hlín mramorovaný podzol.

Do posledního glaciálu rovněž spadá tvorba fluviálních šterkopísků a vznik soliflukčních sedimentů. Říční a terasové šterkopísky jsou v celé oblasti zvodnělé a jsou zdrojem pitné případně užitkové vody. [6]

Sedimenty beskydských příkrovů

Sedimenty beskydských příkrovů jsou v zájmové oblasti zastoupeny následujícími stratigrafickými jednotkami:

- spodní křída
- svrchní křída
- paleogén

Beskydský příkrov je nasunut od jihu jako střížný příkrov slezské a podslezské jednotky na autochtonní miocén. Podle A. Jurkové (1965) došlo k nasunutí beskydských příkrovů ve dvou fázích: staroštyrské a mladoštyrské. Po nasunutí staroštyrského příkrovu na bazální slepence svrchního helvetu dochází k mohutné erozi, kterou byl údajně zasažen i karbon. Další sedimentace na staroštyrském příkrovu začíná opět detritem, který většinou tvoří výplň erozivních výmolů. Nad detritem se usazují horniny odpovídající ostravskému šlíru. Tak dochází k tomu, že je lokálně zachován dvojí reliéf karbonu, a to mírnějšími svahy, který je starší než karpatský a dále s příkřejšími svahy - mladší předtortonský.

Slezská jednotka

Slezská jednotka je zastoupena sedimenty spodní křídou:

Těšínsko - hradištské souvrství (hauteriv - apt) je jejím nejstarším členem a je zastoupeno černošedými a tmavěhnědlesedými jílovci převážně vápnitými, místy s laminami písčitého vápence a vápnitého pískovce. Byla v nich zjištěna větší žilná tělesa těšinitických vyvřelin, které vycházejí na povrch na pravém břehu Ostravice - na katastrálním území obce Řepiště.

Veřovické vrstvy jsou dalším vrstevním celkem spodní křídý a provázejí v normálním styku rozsáhlý výskyt těšínsko - hradišťského souvrství.

Lhotecké vrstvy vystupují jako černošedé slabě vápnité až nevápnité nebo světleji šedé, černě skvrnitě, pevné, nevrstevnaté jílovce albského stáří.

Podslezská jednotka

Podslezská jednotka je zastoupena sedimenty svrchní křídý až svrchního eocénu, které zaujímají převážnou část pokryvných útvarů:

Svrchní křída je zastoupena frýdeckými vrstvami, které jsou tvořeny šedými slíný s heterohelicidními foraminiferami, globotruncanami a rugoglobygerinami.

Paleocén byl zachycen po plynulém přechodu frýdeckých vrstev do redukční facie skvrnitých klokočovských slínů. Jsou to rudohnědé a šedé vrstvy slinitých jíků (podmelitové vrstvy) a jsou svrchně eocénního stáří.

Neogén

Neogén je zastoupen miocénními vrstvami, které se zachovaly v reliéfových karbonských depresích. Bližší stratigrafická příslušnost není zcela dořešena pro nepřítomnost mikrofauny, případně přítomnost persistentních druhů nebo nevyjasněné možnosti výskytů některých druhů dírkovců v karpátu nebo spodním bádenu.

Karbon

Karbonské sedimenty jsou v hranicích důlního prostředí Paskov zastoupeny jak v produktivním, tak i v neproduktivním vývoji. Produktivní karbon reprezentují sedimenty ostravského souvrství a to částí vrstev svrchních hrušovských, spodními hrušovskými vrstvami a vrstvami svrchními a spodními petřkovickými. Neproduktivní karbon reprezentují vrstvy kyjovické.

5.2 Hydrogeologické poměry

Vodonosný kvartér

Vodonosný kvartér je vyvinut v podobě říčních teras podél toku řek Ostravice a Olešné. V terasách řek jsou zastoupeny horniny různých typů, většinou s dobrou propustností. Od povrchu karbonu jsou kvartérní zvodně většinou dostatečně izolovány komplexem nepropustných hornin podslezské série, tvořené převážně paleocenními vrstvami, méně vrstvami spodní křídly. V neogenních sedimentech v zájmové oblasti převládají slínité jíly, které často tvoří nepropustný podklad čtvrtohorních uloženin. Samy uzavírají pískové čočky často zvodnělé.

Průlomové vody čtvrtohorních útvarů jsou vázány hlavně na pleistocenní glacifluviální, glaciakustrinní písky a štěrky a na pleistocenní písky a štěrky teras a údolních niv. Ty jsou běžné hlavně v Moravské bráně, Ostravské pánvi, Oderské nížině a sníženinách Pobeskydí a Beskyd. Velikost zásob podzemní vody závisí na tvaru reliéfu nepropustného podloží čtvrtohorních sedimentů, na intenzitě a hloubce členění jejich povrchu a na jejich mocnosti. V předkarpatských sníženinách dosahují písčité čtvrtohorní usazeniny velké mocnosti a jsou jen mělce překryty erozními zářezy toků. Glaciofluviální a glaciolakustrinní usazeniny bývají pokryty sprašovými hlínami, které brání infiltraci srážek a snižují specifický odtok z propustných usazenin. [6, 7]














































5.3 Geologické a geomorfologické poměry zájmové oblasti

Konkrétní geologie sledované zájmové oblasti mezi obcemi Paskov a Řepiště byla získána za pomoci České geologické služby a internetové aplikace www.geology.cz (obr. 7). Na obrázku je sledovaný sesuv vyznačen červeným křížkem. Následující obrázek (obr. 10) představuje rozsáhlé sesuvné území mezi Frýdkem – Místkem a obcí Vratimov. Červenou barvou jsou znázorněny aktivní sesuvy a modrou sesuvy pasivní. Ve výřezu na obrázku 11 je vidět část aktivního sesuvu s označením M34-73-D-c. Jedná se o území o rozloze cca 300 x 3000 metrů se strmými morfologickými typy. Na území se nachází zvlněné svahy a četné překrývající se sesuvy. Nachází se zde jílovité hlíny a písčité jíly. Celé sledované území je z části zamokřené a pod svahem eroduje Ostravice. (podle www.geology.cz) Sledovaný dílčí sesuv je na obrázku 11 vyznačen zeleným kroužkem.



Obr. 7: Geologická mapa 1:50 000 (podle: [8]).

Legenda linií

	2	, hranice zjištěná		23	, zlom předpokládaný s tekt. brekcii		28	, přesmyk předpokládaný
	3	, hranice pravděpodobná		32	, zlom zakrytý		29	, přesmyk předpokládaný s mylonit.
	4	, přechod litologický		37	, zlom zakrytý se sklonem		38	, přesmyk zakrytý
	5	, hranice sesuvných území		36	, zlom zakrytý se sm. úklonou		39	, přesmyk zakrytý s mylonit.
	12	, zlom zjištěný		34	, zlom zakrytý s mylonit.		42	, mylonitizovaná zóna
	17	, zlom zjištěný se sklonem		35	, zlom zakrytý s pokl. krou		43	, pásmo drcení
	16	, zlom zjištěný se sm. úklonou		33	, zlom zakrytý s tekt. brekcii		184	, zóna fylonitizace
	14	, zlom zjištěný s mylonit.		21	, zlom násunový zjištěný		44	, tektonika speciální
	15	, zlom zjištěný s pokl. krou		31	, zlom násunový předpokládaný		8	, žily žilné horniny - linie
	13	, zlom zjištěný s tekt. brekcii		41	, zlom násunový zakrytý		9	, žily žilné horniny - body
	22	, zlom předpokládaný		20	, příkrov zjištěný		153	, hranice prostoru těžebny
	27	, zlom předpokládaný se sklonem		30	, příkrov předpokládaný		60	, mapový list 1 : 50 000
	26	, zlom předpokládaný se sm. úklonou		40	, příkrov zakrytý		59	, státní hranice ČR
	24	, zlom předpokládaný s mylonit.		18	, přesmyk zjištěný		61	, linie formální
	25	, zlom předpokládaný s pokl. krou		19	, přesmyk zjištěný s mylonit.		82	, hranice k. metan. ostrá

Obr. 8: Legenda k obrázku 7 (podle: [8]).

LEGENDA OBRÁZKU:

KENOZOIKUM

KVARTÉR

nivní sediment

smíšený sediment

písčito-hlinitý až hlinito-písčitý

sediment

sprašová hlína

písek, štěrk

písek až štěrk

till

NEOGÉN

vápnitý jíl (těgl), místy s polohami

písků

PALEOGÉN

jílovec, silicit, vápenec

KENOZOIKUM, MEZOZOIKUM

KŘÍDA, PALEOGÉN

jílovec, pískovec, slepenec

pelity, podřadně pískovce a slepence

jílovec, pískovec

MEZOZOIKUM

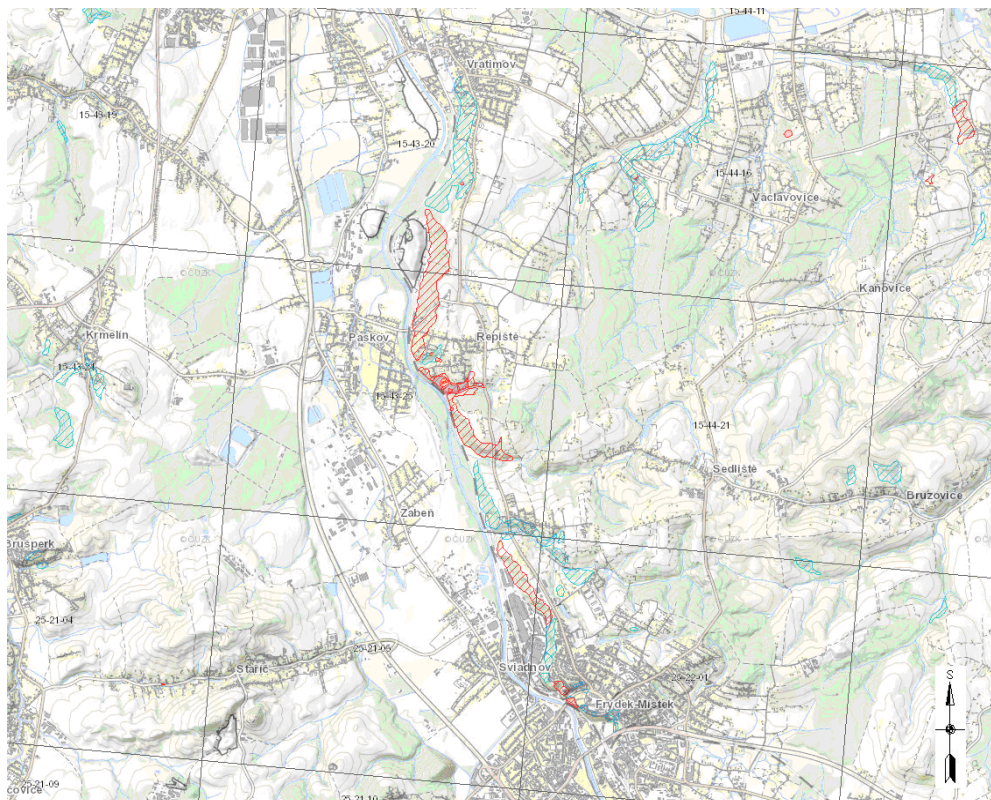
KŘÍDA

jílovec, pískovec, silicit

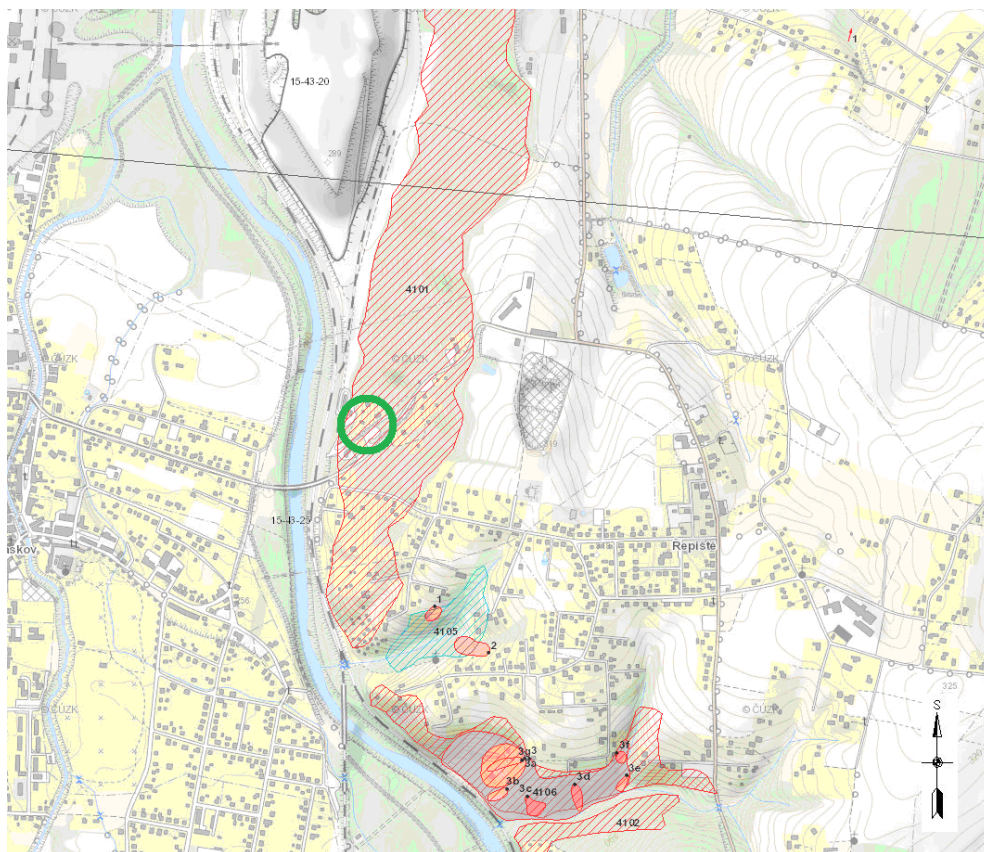
tešinit, pikrit, tuf, tufit

jílovec, pískovec, pelosiderit

Obr. 9: Legenda k obrázku 7 (podle: [8]).



Obr. 10: Sesuvná území mezi Frýdkem - Místkem a obcí Vratislavice 1:50 000 (podle: [8]).



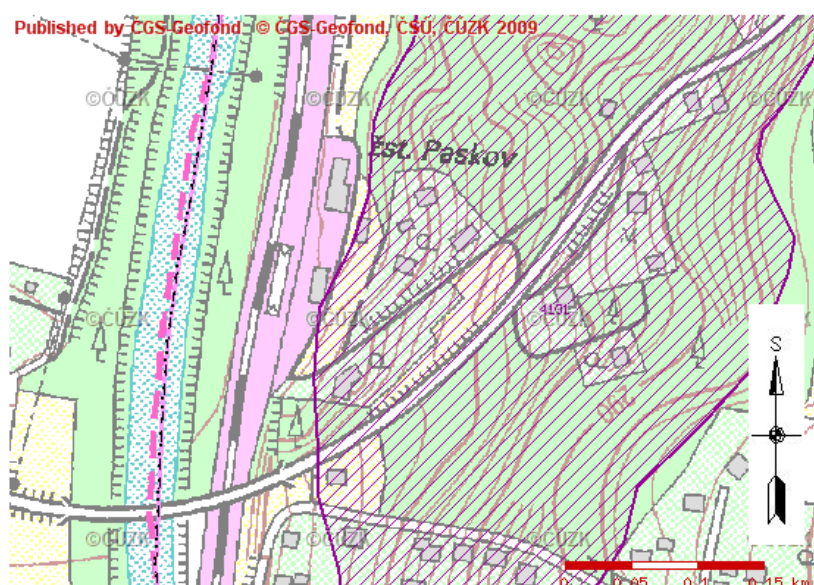
Obr. 11: Výřez sesuvného území mezi obcemi Paskov a Řepiště 1:10 000 (podle: [8]).

6 Analýza stávajícího stavu sesuvného území

Pro analýzu stávajícího stavu sledovaného sesuvu v zájmové oblasti (Obr. 12) bylo použito několik metod. V první fázi byl sesuv a okolí sledován rekognoskačně - vlastním mapováním, pro vytvoření charakteristických řezů byla provedena profilová měření, pro dokumentaci celého sesuvu bylo použito GPS měření a pro stabilitní posouzení stávajícího stavu bylo použito matematického modelování. Na obrázku 13 je znázorněn detail plošného sesuvu v zájmové oblasti.



Obr. 12: Zájmové území v lokalitě mezi obcemi Paskov a Řepiště v úseku ulice Cihelní nad žst. Paskov (podle: [9]).



Obr. 13: Detail plošného sesuvu v zájmové oblasti (podle: [8]).

6.1 Rekognoskace terénu

Celé zájmové území sledovaného sesuvu bylo detailně zmapováno, byly zdokumentovány projevy sesuvu, jako jsou zátrhy, trhliny na komunikaci (Obr. 14, 15, 16) apod. a byla vytipována místa pro provedení profilových měření a vytyčení charakteristických řezů s ohledem na vrtný průzkum, který byl v dané oblasti proveden na konci šedesátých let (Obr. 17, 18).



Obr. 14: Projev sesuvu ve svahu pod komunikací.



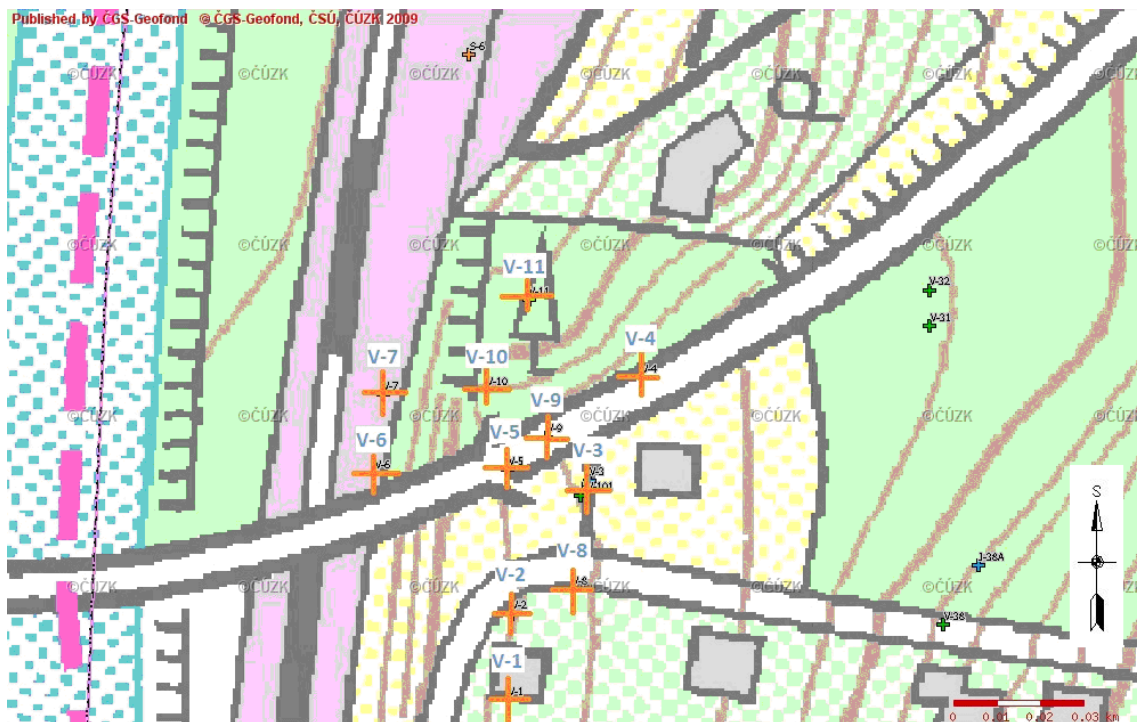
Obr. 15: Projev sesuvu přímo na komunikaci.



Obr. 16: Projev sesuvu přímo na komunikaci.



Obr. 17: Zhlaví jednoho z průzkumných vrtů.



Obr. 18: Vrtná prozkoumanost zájmového území.

S ohledem na to, že se sledovaný řešený sesuv nachází v rozsáhlém sesuvném území (Obr. 18), byly i mimo řešenou situaci zastiženy projevy pohybu svahu a to např. na rodinném domě v obci Paskov, č.p. 233 (Obr. 19) nebo na sloupu pouličního osvětlení (Obr. 20).



Obr. 19: Projevy svahových pohybů - trhliny na stavebním objektu.



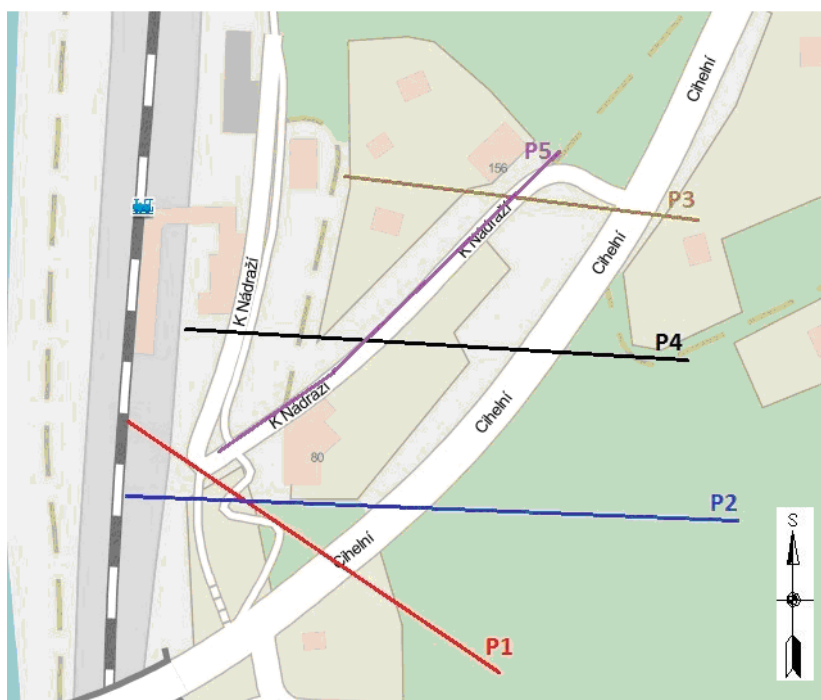
Obr. 20: Projevy svahových pohybů - nahnutý sloup pouličního osvětlení.

6.2 Měření totální stanicí

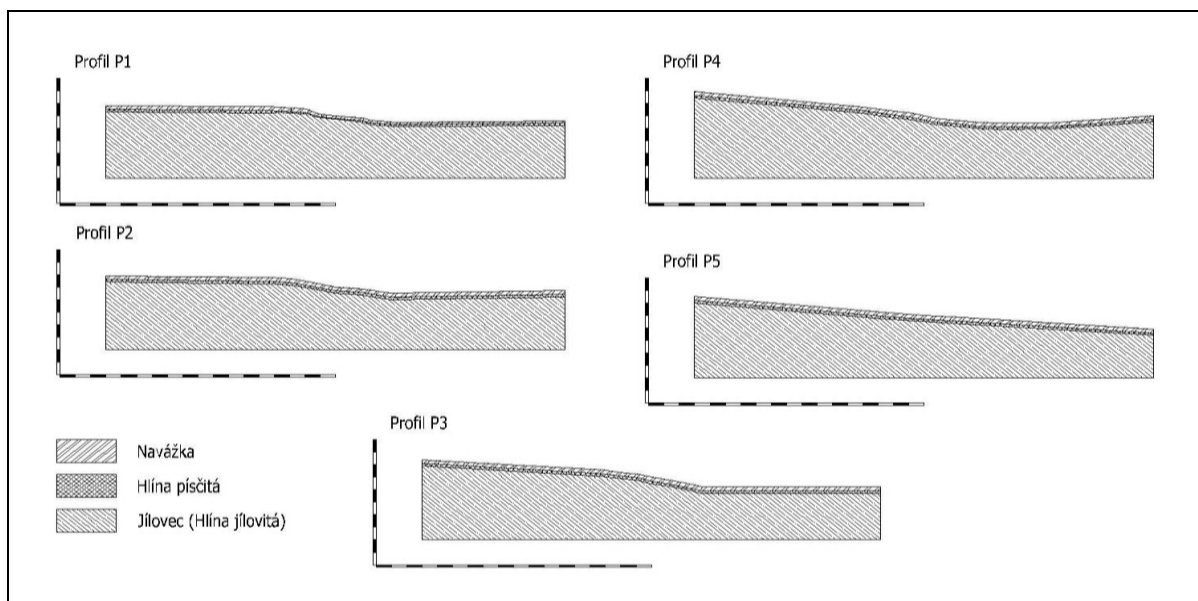
Za účelem vytvoření charakteristických řezů byla použita totální stanice LEICA TPS1200 (Obr. 21). Celkem bylo vytipováno a zaměřeno pět profilů P1 až P5 (Obr. 22,23). Z těchto profilů byl následně vybrán ten nejvhodnější, který nejlépe vystihoval danou situaci a řešený problém, pro vytvoření matematické modelu.



Obr. 21: Zaměření zájmového území totální stanicí LEICA TPS1200.



Obr. 22: Rozmístění vytvořených charakteristických řezů.



Obr. 23: Charakteristické řezy - příčné profily P1- P5.

6.3 Mapování pomocí GPS

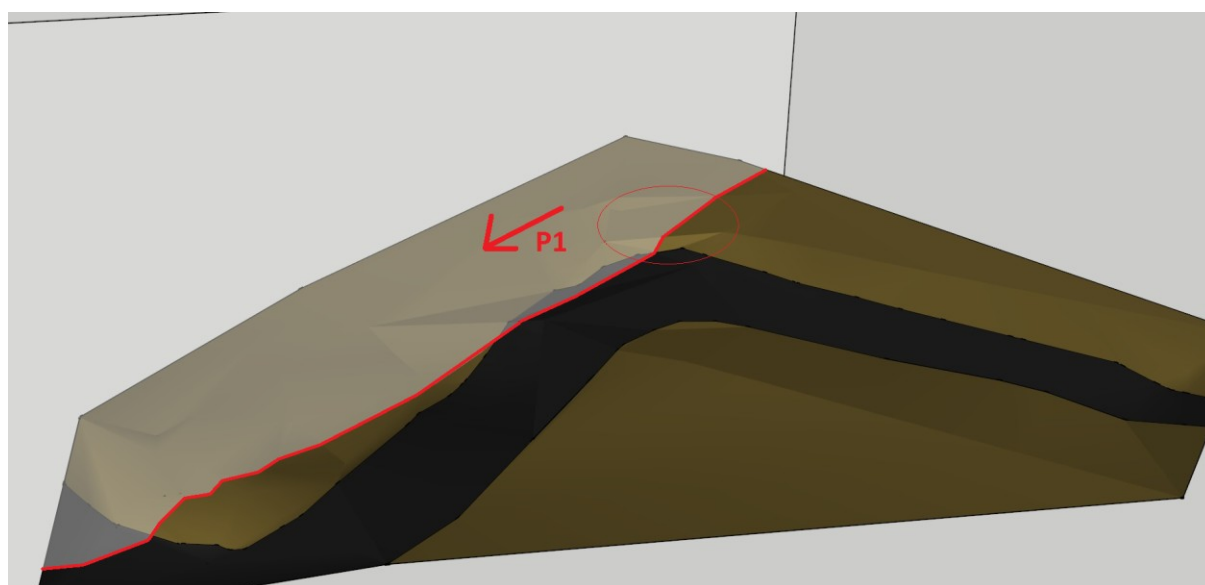
Celé zájmové území bylo také navíc zaměřeno pomocí stanice LEICA ATX1230GG (Obr. 24), kdy byl ze získaných dat (Tab. 1) vytvořen detailní 3D model celého sledovaného svahu z použití programu SketchUp 7 (Obr. 25).



Obr. 24: Zaměření zájmového území totální stanicí LEICA TPS1200.

Číslo bodu	Souřadnice			Číslo bodu	Souřadnice		
	x	y	z		x	y	z
1	470040.6216	1112810.1008	256.8901	28	470021.0350	1112854.5604	270.1412
2	470045.4669	1112812.7161	256.4877	29	470009.7081	1112852.0333	268.3714
3	470068.8003	1112806.2625	254.1381	30	470014.8446	1112844.9811	265.5268
4	470060.4552	1112826.3821	257.6789	31	470021.7208	1112848.9882	265.4746
5	470058.6930	1112830.8832	257.2321	32	470025.3350	1112843.5625	266.2372
6	470043.0714	1112842.1544	260.6918	33	470025.0156	1112839.4337	261.4568
7	470044.3155	1112847.4360	262.4593	34	470025.7539	1112831.8469	261.6946
8	470051.8838	1112858.5069	263.6278	35	470027.3086	1112853.7109	265.8733
9	470074.9391	1112881.6885	264.6678	36	470030.6408	1112854.0159	265.0435
10	470068.0972	1112879.4402	263.6195	37	470034.5339	1112854.2880	265.0654
11	470051.1605	1112863.3216	262.2264	38	470044.2076	1112865.0916	267.8009
12	470039.5030	1112847.9870	261.4115	39	470049.2813	1112869.9842	267.3589
13	470038.6657	1112841.4370	260.4288	40	470068.6596	1112872.0765	260.8696
14	470047.3113	1112836.0243	260.6915	41	470062.5650	1112865.2115	260.6213
15	470053.8848	1112833.1087	259.8721	42	470057.3497	1112859.5449	260.5848
16	470053.2538	1112826.3262	256.9113	43	470051.2176	1112850.5373	261.7144
17	470047.8612	1112822.7223	256.8641	44	470048.8295	1112845.7977	260.2290
18	470042.4414	1112819.0757	257.3550	45	470062.3355	1112832.5540	257.0100
19	470049.1702	1112830.0484	258.2856	46	470060.6307	1112826.3596	258.2055
20	470037.2374	1112838.1396	259.8249	47	470067.1338	1112825.4888	255.6616
21	470032.7863	1112841.9194	262.1708	48	470062.2406	1112820.9102	254.9465
22	470030.5320	1112844.0156	262.2380	49	470056.9516	1112818.2052	254.9031
23	470034.6572	1112848.1586	262.2380	50	470051.6655	1112814.7703	255.5978
24	470035.5574	1112848.6046	261.5595	51	470057.2782	1112804.6542	254.6741
25	470037.5347	1112850.5774	261.9358	52	470057.2392	1112804.6493	254.6751
26	470036.7251	1112851.3439	262.3806	53	470072.9287	1112814.0251	254.0964
27	470060.6535	1112877.1917	264.8101	54	470079.1787	1112805.7100	254.9326

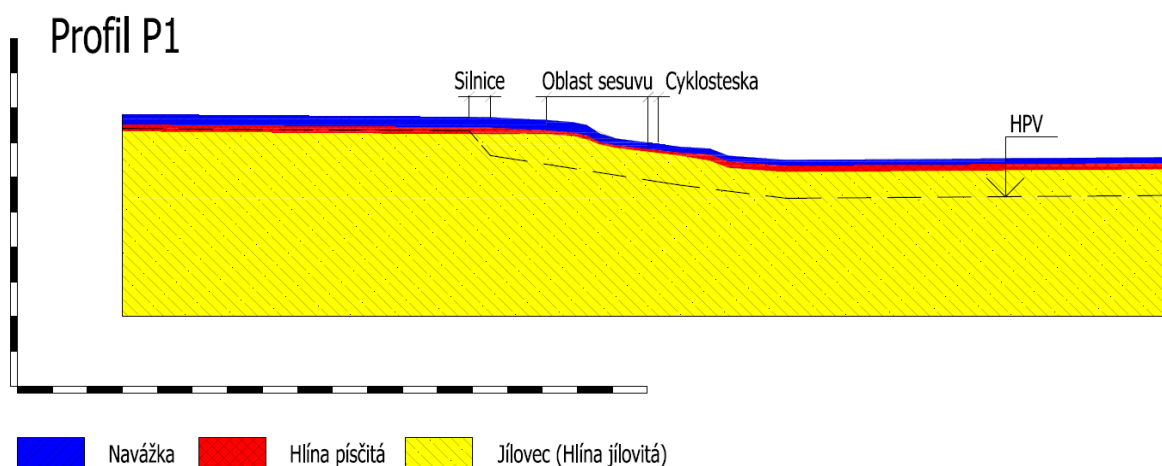
Tab. 1: Získaná data z mapování pomocí GPS.



Obr. 25: 3D vizualizace zájmové oblasti vytvořená na základě mapování pomocí GPS.

6.4 Matematický model stávajícího stavu

K vytvoření matematického modelu byl použit programový systém Plaxis 2D. Pro analýzu stávajícího stavu byl zvolen charakteristický řez s označením P1 (Obr. 26), který nejlépe vystihuje situaci a prochází přímo geologickým vrtem V-11 (Obr. 27). Pro dopřesnění geologie pro účely matematického modelu byly použity také informace z vrtů V-9 a V-10 (rozmístění geologických vrtů, viz Obr. 18). Na základě podkladů z geofondu k příslušným geologickým vrtům byla sestavena geometrie matematického modelu odpovídající reálné situaci (Obr. 28).



Obr. 26: Charakteristický řez - příčný profil P1.

Česká geologická služba
databáze geologicky dokumentovaných objektů

gd3v

STRATIGRAFICKÝ VYMEZENÝ VÝPIS GEOLOGICKÉ DOKUMENTACE ARCHIVNÍHO VRTU
V-11 [Řepiště]

Klíč báze GDO	:	341576	Číslo posudku	:	P022078	Mapy 1:25.000	15-434	M-34-73-D-c
Souřadnice - X	:	1112847.00	Y	:	470066.00	[digitalizováno z mapy 1:500]		
Nadmořská výška	:	258.68	[zaměřeno (systém neuveden)]			Rok ukončení	:	1969
Hloubka / délka	:	10.00	[vrt svislý]			Datum výpisu	:	3.5.2013
Účel objektu	:	inženýrsko-geologický						
Realizace	:	GPO, závod Hrabová						
Komentář	:							

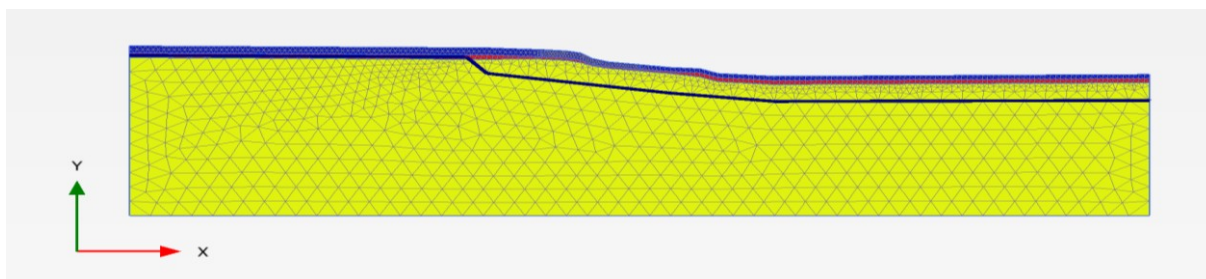
hloubkový interval [m]	stratigrafie základní popis polohy rozšíření popisu polohy komentář k poloze
-----------------------------	--

0.00 - 1.70	: navážka hlinitá
1.70 - 3.50	: hlína svahová, jílovitá, zelenošedá
3.50 - 10.00	: Křída jílovec vápnný, v ostrohranných úlomcích přechod : hlína jílovitá zelenošedá

Suchý objekt

Provedené zkoušky
technologické rozbor, petrografické rozbor a zkoušky

Obr. 27: Geologický vrt V-11 (podle: [8]).

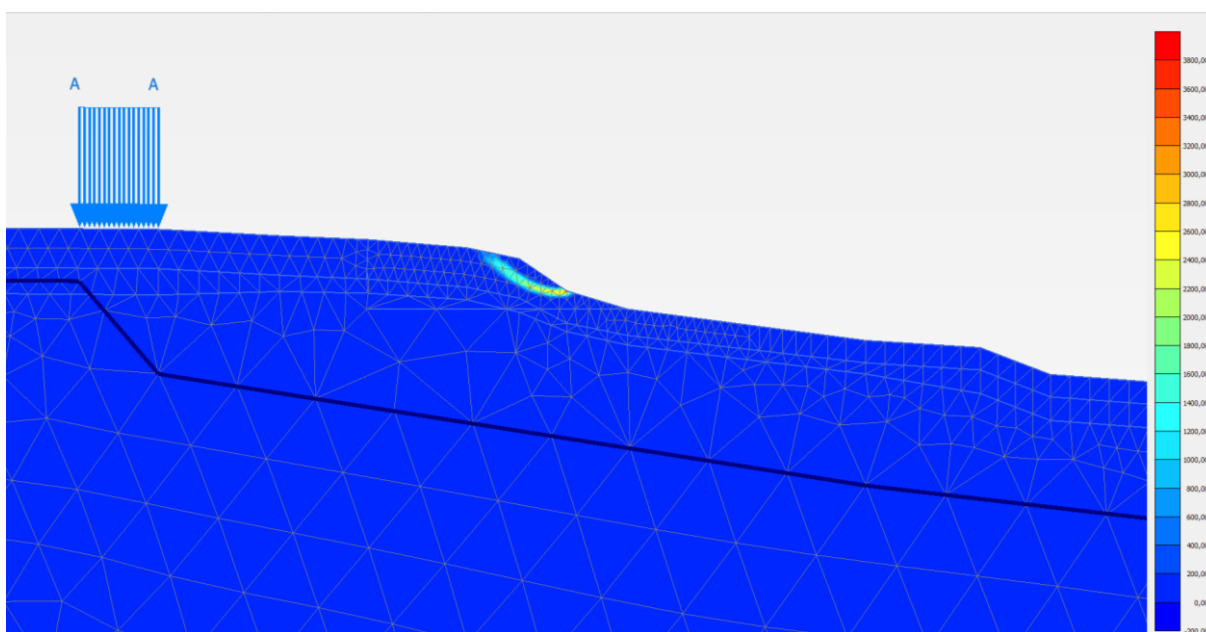


Obr. 28 Geometrie matematického modelu řezu P1 – stávající stav.

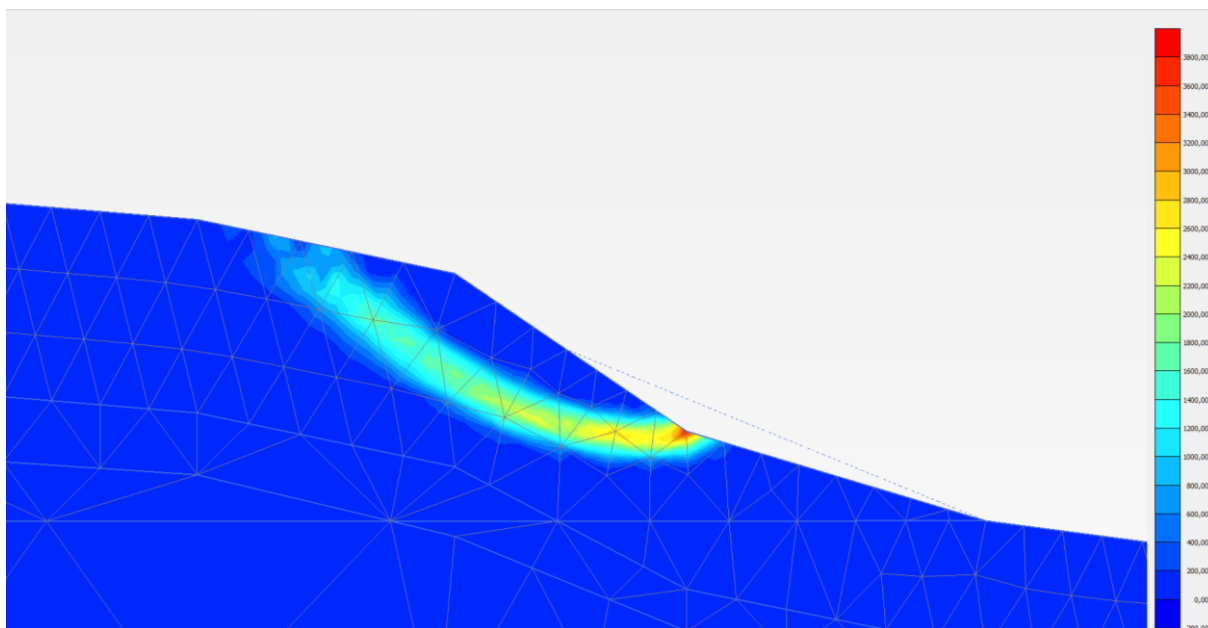
Do matematického modelu byly zaimplementovány parametry zemin na základě vrtné prozkoumanosti a informací z geofondu. S těmi parametry (tab. 2) byl spočítán matematický model dané situace a výsledky analýzy stability svahu jsou představeny na obrázku 29, kde je jasně vidět smyková plocha. Detailní výřez smykové plochy je zobrazen na obrázku 30. Do matematického modelu bylo zaneseno také přetížení dopravou ve formě spojitého zatížení o velikosti 10 kN.m^{-2} , které však neovlivňuje pro svoji vzdálenost od posuzovaného místa dané výpočty. Stupeň stability pro stávající stav vyšel 1,9460.

	Navážka	Hlína písčítá	Jílovec	Jednotky
γ_{unsat}	18	18	19	kN.m^{-3}
γ_{sat}	20	20	21	kN.m^{-3}
E	10	13	10	MPa
ν	0,3	0,35	0,37	-
c	5	15	5	kPa
φ	29	26	25	°
K	$8,64 \cdot 10^{-3}$	$0,0864 \cdot 10^{-3}$	$0,864 \cdot 10^{-6}$	m.den^{-1}

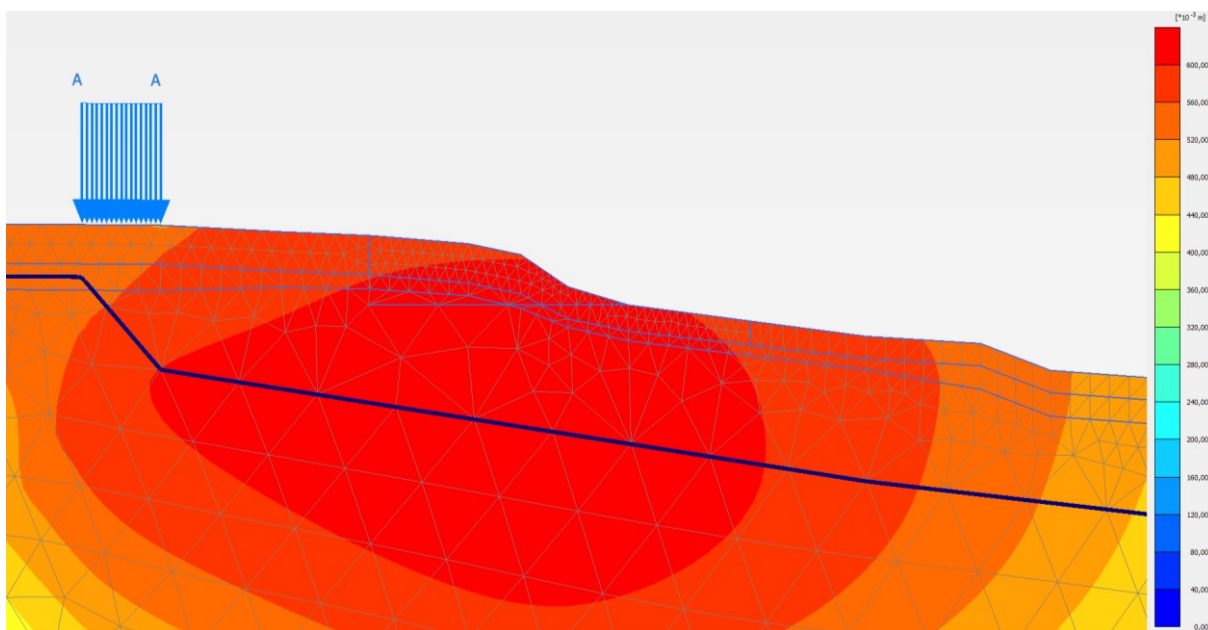
Tab. 2: Materiálové charakteristiky použité pro matematický model stávajícího stavu (podle: [8]).



Obr. 29 Výstup matematického modelu - stávající stav - průběh smykové plochy.

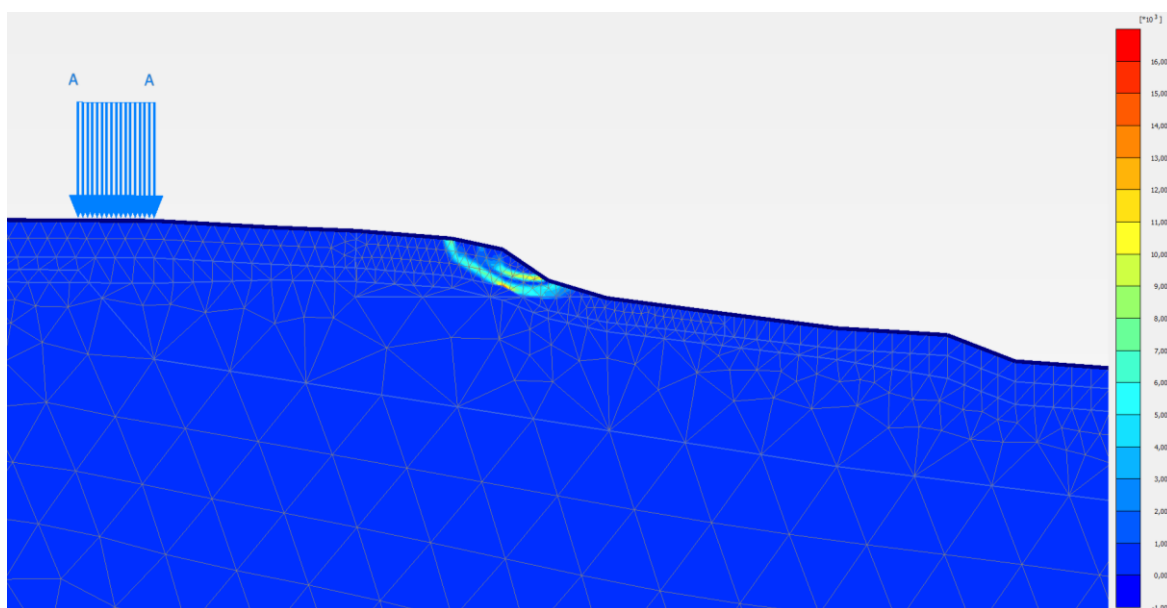


Obr. 30 Výstup matematického modelu - stávající stav - výřez smykové plochy.

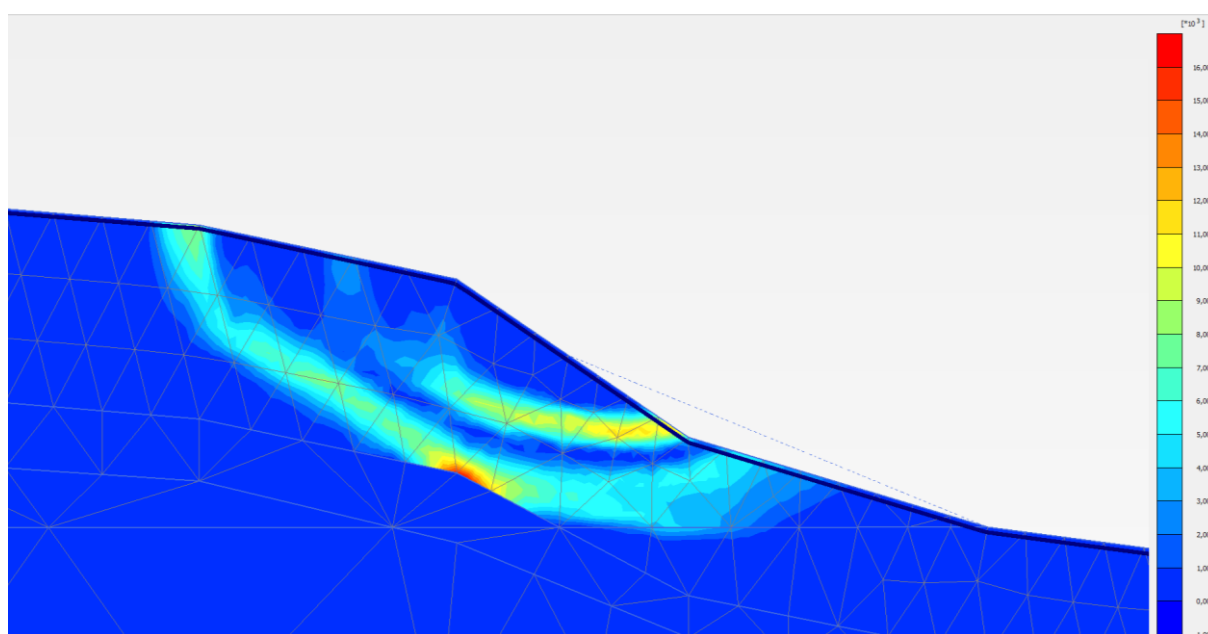


Obr. 31: Výstup matematického modelu - stávající stav - absolutní posuny.

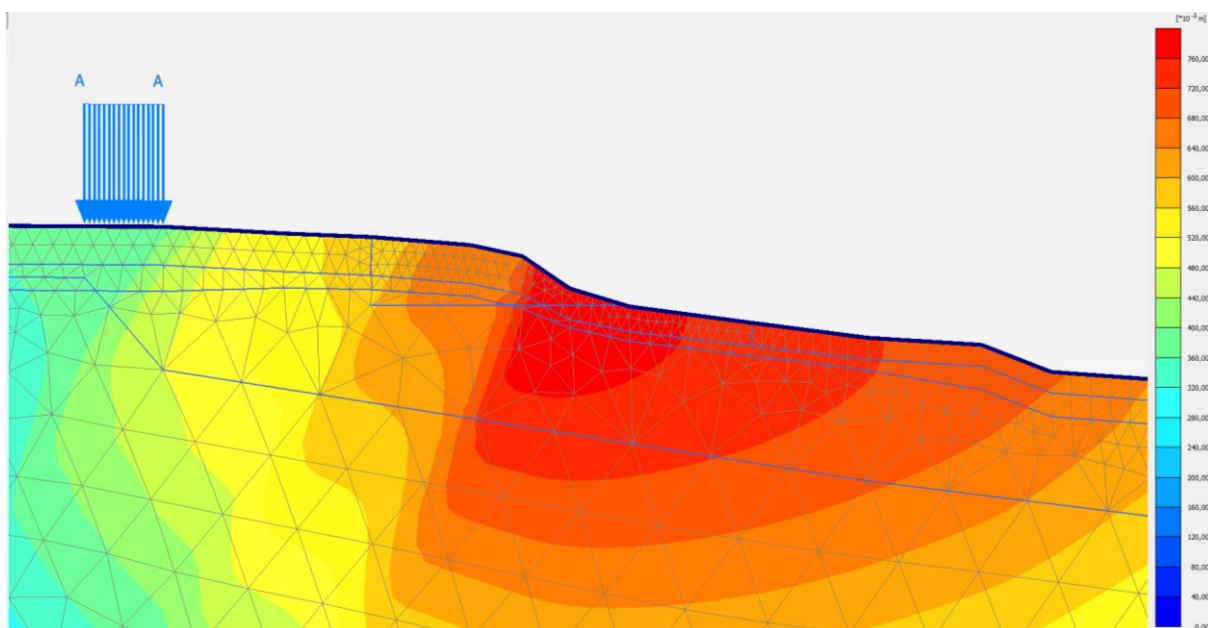
Pro danou situaci byl vytvořen také matematický model extrémní situace, kdy dojde vlivem srážek k nastoupení hladiny podzemní vody až na úroveň terénu a výsledek stabilní analýzy v grafické podobě je představen na obrázku 32. Výřez smykové plochy následně na obrázku 33. Na následujícím obrázku jsou opět představeny také absolutní posuny. Stupeň stability pro extrémní případ vyšel 1,1452. Pro tuto variantu byly následně v další kapitole zpracovány možné sanační opatření.



Obr. 32: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - průběh smykové plochy.



Obr. 33: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - průběh smykové plochy.



Obr. 34: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - absolutní posuny.

7 Návrh variantních sanačních opatření

Sanační práce je pro danou lokalitu a s ohledem na situaci třeba zaměřit na zvýšení pasivních sil v patě svahu vybudováním přítěžování lavice a zamezením možnosti sezónního zvýšení hladiny podzemní vody.

S ohledem na matematický výpočet stávajícího stavu pro extrémní situaci, kdy dojde k nastoupání podzemní vody až na úroveň terénu, je pro charakteristický řez P1 vhodné zlepšit stabilitní podmínky vytvořením přibližně 6 metrů dlouhé a 2,6 metrů vysoké přítěžovací lavice se sklonem 1:2,5 (varianta A). Materiál pro vytvoření lavice musí být vytvořen z propustných zemin. Nejčastěji používaný je štěrková zemina frakce 32-64. Materiálové charakteristiky pro vytvoření matematických modelů byly tedy doplněny o tuto zeminu (tab. 3).

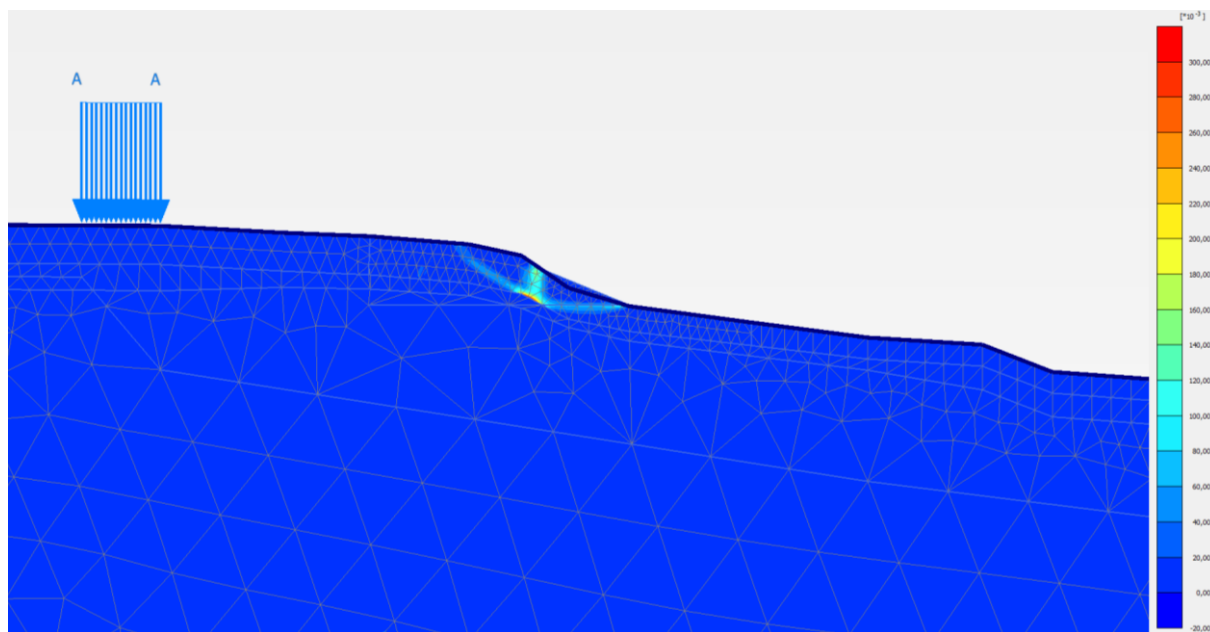
	Navážka	Hlína písčitá	Jílovec	Štěrk	Jednotky
γ_{unsat}	18	18	19	21	kN.m^{-3}
γ_{sat}	20	20	21	23	kN.m^{-3}
E	10	13	10	250	MPa
ν	0,3	0,35	0,37	0,2	-
c	5	15	5	1	kPa
φ	29	26	25	40	°
K	$8,64 \cdot 10^{-3}$	$0,0864 \cdot 10^{-3}$	$0,864 \cdot 10^{-6}$	860	m.den^{-1}

Tab. 3: Materiálové charakteristiky použité pro matematický model sanačních opatření (podle: [8]).

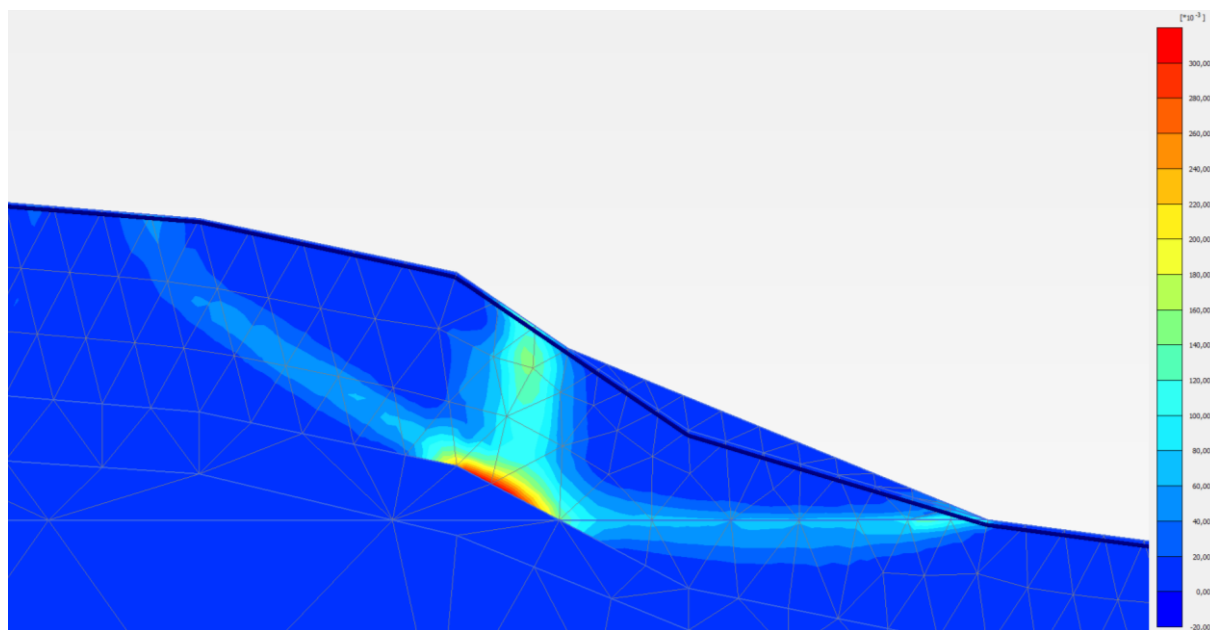
Dalším sanačním opatřením, které je v dané lokalitě vhodné aplikovat, je hloubkové odvodnění horizontálními vrty o délce 20 metrů (varianta B), event. toto kombinovat s přítěžovací lavicí (varianta C). Všechny tři varianty byly zpracovány v jednotlivých matematických modelech a byla opět vyhodnocena stabilita svahu.

8 Modelová analýza navržených variant sanací

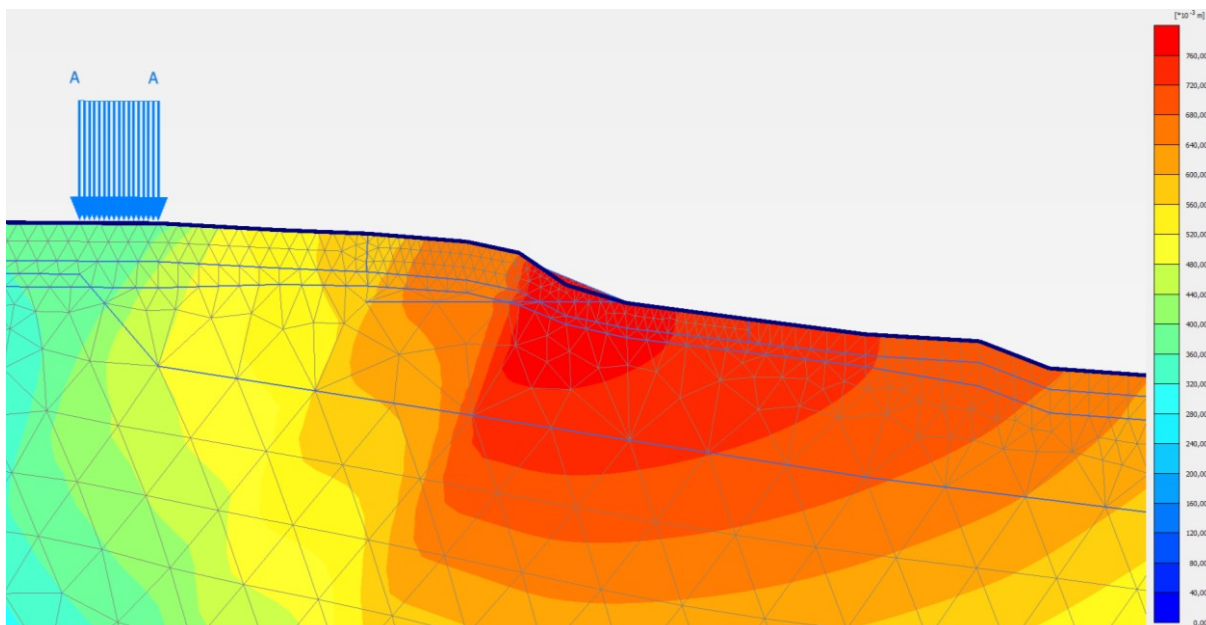
První matematický model představuje stav, kdy je extrémní situace s nastoupanou hladinou podzemní vody na úroveň terénu doplněna o přitěžovací šterkovou lavici - varianta A (Obr. 35 a 37). Na obrázku 34 je výřez smykové plochy. V této variantě došlo ke zvýšení stability svahu na 1,2649.



Obr. 35: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační var. A - průběh smykové plochy.

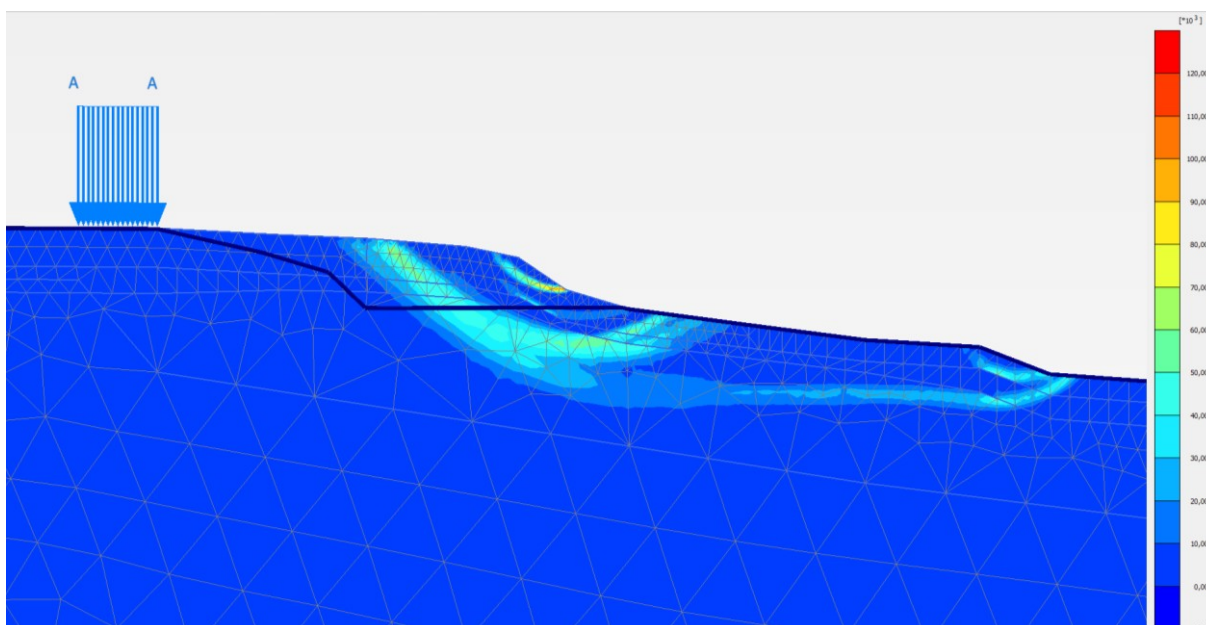


Obr. 36: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta A - výřez smykové plochy.

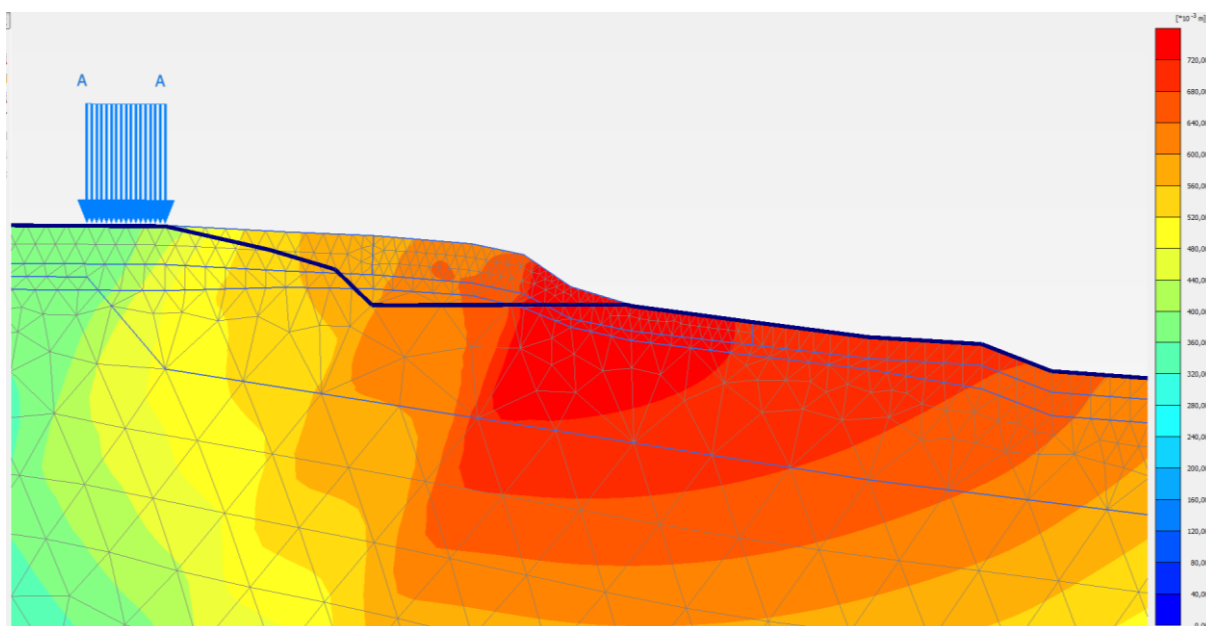


Obr. 37: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta A - absolutní posuny.

Následně byl zpracován matematický model simulující 20 metrů dlouhé odvodňovací vrty - varianta B, čímž by při nastolení extrémní situace, tedy nastoupaní hladiny podzemní vody na úroveň terénu došlo k odvedení této vody. Výsledná smyková plocha je představena na obrázku 38 a absolutní posuny na obrázku 39. Při tomto eventuálním sanačním opatření by došlo ke zvýšení stupně stability na 1,9326.

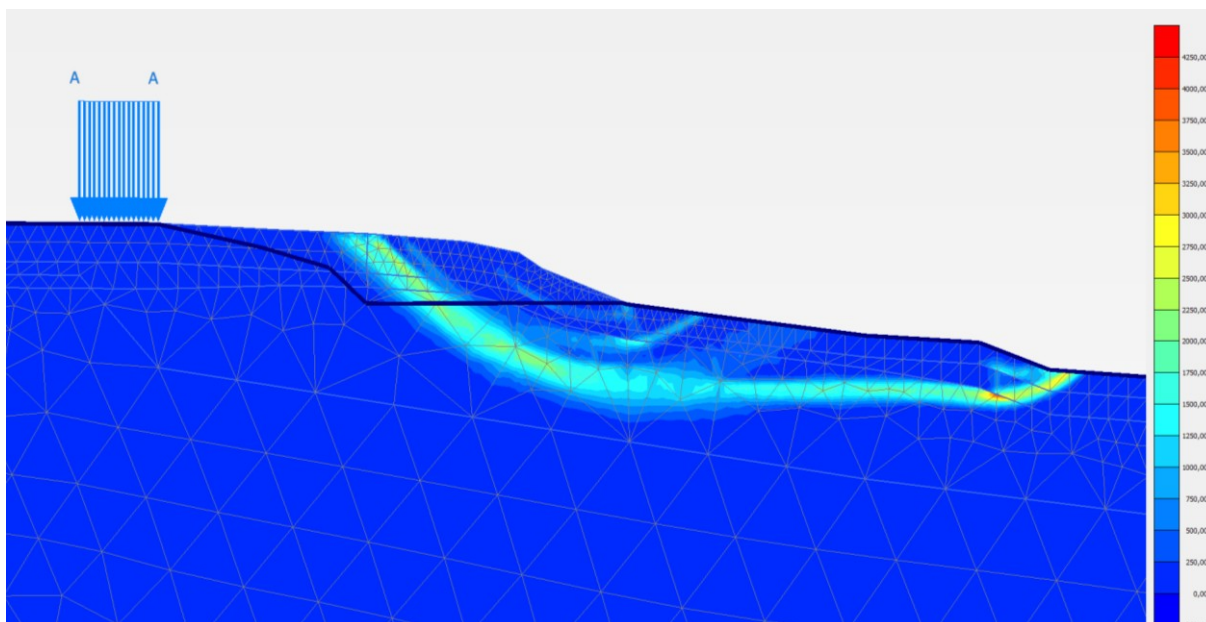


Obr. 38: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta B - průběh smykové plochy.

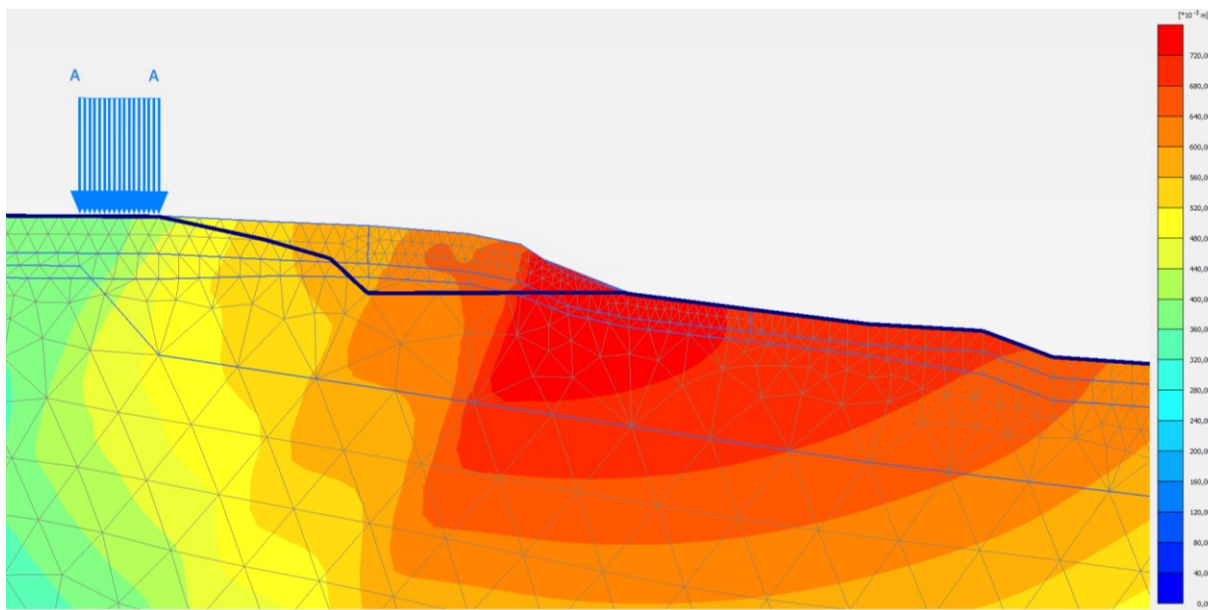


Obr. 39: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta B - absolutní posuny.

Poslední variantou sanace zpracovanou v rámci této práce za pomoci matematického modelování byla kombinace dvou předchozích, tedy přitěžovací štěrkové lavice a provedených drenážních vrtů - varianta C. Výstup z programu Plaxis 2D, průběh smykové plochy, je představen na obrázku 40, resp. 41 - absolutní posuny. V této variantě by se stupeň stability zvýšil na hodnotu 1,9437.



Obr. 40: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - varianta C - průběh smykové plochy.



Obr. 41: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta C - absolutní posuny.

V rámci řešeného problému byly teoreticky zpracovány dvě, respektive tři sanační varianty, které byly aplikovány na extrémní variantu, při níž dojde k nastoupaní hladiny podzemní vody na úroveň terénu (stupeň stability spočítaný metodou konečných prvků 1,1452).

První aplikovanou variantou byla přítěžovací štěrková lavice, což je jedna z nejběžnějších metod sanací takovýchto drobných sesuvů. Z modelové analýzy metodou konečných prvků však nedošlo k výraznému zvýšení stupně stability. Stupeň stability se zvýšil pouze o 0,1197.

Druhým logicky aplikovaným řešením by tedy bylo použití horizontálních odvodňovacích vrtů. Zde už v rámci modelové analýzy došlo k výraznému zvýšení stupně stability a to na hodnotu 1,9326.

Třetí, poslední zpracovanou variantou byla kombinace dvou předchozích. V tomto případě se stupeň stability ještě nepatrně zvýšil oproti aplikaci pouze drenážních vrtů.

Z výsledků matematického modelování tedy jako nejlepší vhodná varianta sanace daného sesuvu vyplývá aplikace horizontálních odvodňovacích vrtů. Kombinace s přítěžovací štěrkovou lavicí se zdá být málo účinná.

9 Závěr

Cílem diplomové práce bylo zhodnocení stavu sesuvného území v lokalitě mezi obcemi Paskov a Řepiště v úseku ulice Cihelní nad železniční stanicí Paskov a následný návrh sanačních opatření, které by bylo možno použít v daném případě.

V rámci předkládané práce byla provedena nejprve rekognoskace terénu, geodeticky byly zaměřeny příčné profily, s ohledem na největší a nejmarkantnější projevy sesuvu byl vytipován profil pro následné matematické modelování metodou konečných prvků (Plaxis 2D) a za pomoci GPS mapování byl také sestaven 3D model situace. Následně byl vytvořen matematický model stávajícího stavu pro jeden vytipovaný příčný profil a pro tento profil byla namodelována také extrémní situace, při které dojde díky nastoupání hladiny podzemní vody na úroveň terénu. Pro tento extrémní případ pak byly navrhovány sanační opatření.

Jako sanační opatření byly posuzovány tři varianty (A,B,C), které se používají při sanaci obdobných sesuvů. První navrženou variantou (A) je přítěžovací šterková lavice a druhou (B) pak horizontální odvodňovací vrty. Pro obě varianty byly zpracovány 2D matematické modely a byly vyhodnoceny stupně stability. Mimo to byla zpracována také varianta (C), která kombinovala přítěžovací šterkovou lavici s horizontálními vrty. Stupně stability třech navržených variant byly porovnány se stupněm stability, který byl získán z matematického modelu stávajícího stavu při extrémní situaci nastoupání hladiny podzemní vody na úroveň terénu (Tab. 4).

Varianta	Provedené úpravy	Stupeň stability
Původní stav HPV	NE	1,946
HPV natoupaná vlivem srážek na úroveň terénu	NE	1,1452
Šterková přítěžovací lavice	ANO	1,2649
Horizontální odvodňovací vrty	ANO	1,9326
Kombinace (lavice + vrty)	ANO	1,9437

Tab.4: Srovnání stupňů stability vypočtených z jednotlivých matematických modelů.

Z tabulky 4 vyplývá, že nevhodnější pro sanaci daného sesuvu, s ohledem na vypočtené stupně stability, se jeví varianta B, při které by byly použity 20 metrů dlouhé horizontální odvodňovací vrty. Při kombinaci odvodňovacích vrtů a přitěžovací lavice (varianta C) sice dojde ještě k nepatrnému zvýšení stupně stability, ale toto zvýšení je minimální a tím pádem se tato varianta jeví jako bezvýsledná. Samotné použití přitěžovací šterkové lavice pro sanaci sledovaného sesuvu se s ohledem na malé zvýšení stupně stability jeví jako nedostatečné.

Součástí provedených sanačních opatření by měl být také následný geotechnický monitoring dalších eventuelních svahových pohybů. S ohledem na malou oblast sesuvu by použití horizontálního inklinometru nebylo zcela rentabilní a vhodným navrženým monitoringem by mohlo být například geodetické sledování sesuvu, srážkoměr a popřípadě piezometr ve vrtu na sledování výšky hladiny podzemní, ale zde by se náklady na monitoring již opět výrazně navýšily o prováděné vrtné práce.

Závěrem je třeba zdůraznit, že sledované území je velice komplikované v horní i řešené dolní části, proto bude nutné najít pokračovatele této práce, následně vyhodnotit nejen stav horní neřešené části, ale také celého sesuvného územím jako celku. Tato analýza by měla přinést mimo jiné představu o návrhu sanací celého sesuvu.

10 Seznam použité literatury

10.1 Literatura

- [1] ZÁRUBA, Q., MENCL, V. *Inženýrská geologie*, Academia, Praha, 1974, 511 s.
- [2] SMITH, K. *Environmental Hazards: Assesing Risk And Reducing Disaster*. 3. vyd. Routledge, Londýn, 2002. 392 s. ISBN 0-415-22463-2
- [3] ZÁRUBA, Q., MENCL, V. *Sesuvy a zabezpečení svahů*. Praha: Academia, 1987, 340 s.
- [4] DEMEK, J. *Obecná geomorfologie*. Praha: ČSAV, 1988. 476 s. Kapitola Svahové pochody a vývoj svahů, s. 199–210.
- [5] BRINKGREVE, R.B.J. *Manual Plaxis*. Balkema. ISBN: 90-5809-508-8
- [6] Kol. autorů (2000) *Závěrečný výpočet zásob černého uhlí - OKD Důl Odra, o.z., závod Paskov, DP Paskov. Stav k 1.1.1999. Zpracoval OKD, DPB Paskov, odb. výpočtu zásob*. Archiv Green Gas DPB, a.s., Rudé armády 637, 739 21 Paskov.
- [7] ROTH, Z. a kol. *Vysvětlivky k přehledné geologické mapě ČSSR 1:200 000 M-34-XIX*, Nakladatelství československé akademie věd, 1962, Praha.

10.2 Internetové odkazy

- [8] <http://www.geology.cz>
- [9] <http://www.mapy.cz>
- [10] <http://www.sci.muni.cz>

11 Seznam obrázků

Obr. 1: Mapa sesuvných území v ČR.

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 2: Projevy ploužení na svahu - opilé stromy (A) a hákování vrstev (B)

Zdroj: <http://www.sci.muni.cz>

Obr. 3: Několik možností úprav svahu vedoucích ke snížení rizika svahových pohybů

Zdroj: <http://www.sci.muni.cz>

Obr. 4: LEICA TPS1200

Zdroj: vlastní

Obr.5: LEICA ATX1230GG

Zdroj: vlastní

Obr. 6: Prostředí programového systému Plaxis 2D

Zdroj: vlastní

Obr. 7: Geologická mapa 1:50 000

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 8: Legenda k obrázku 7

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 9: Legenda k obrázku 7

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 10: Sesuvná území mezi Frýdkem - Místkem a obcí Vratimov 1:50 000

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 11 Výřez sesuvného území mezi obcemi Paskov a Řepiště 1:10 000

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 12: Zájmové území v lokalitě mezi obcemi Paskov a Řepiště v úseku ulice Cihelní nad žst. Paskov

<http://www.mapy.cz>

Obr. 13: Detail plošného sesuvu v zájmové oblasti

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 14: Projev sesuvu ve svahu pod komunikací

Zdroj: vlastní

Obr. 15: Projev sesuvu přímo na komunikaci

Zdroj: vlastní

Obr. 16: Projev sesuvu přímo na komunikaci

Zdroj: vlastní

Obr. 17: Zhlaví jednoho z průzkumných vrtů

Zdroj: vlastní

Obr. 18: Vrtná prozkoumanost zájmového území

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 19: Projevy svahových pohybů - trhliny na stavebním objektu

Zdroj: vlastní

Obr. 20: Projevy svahových pohybů - nahnutý sloup pouličního osvětlení

Zdroj: vlastní

Obr. 21: Zaměření zájmového území totální stanicí LEICA TPS1200

Zdroj: vlastní

Obr. 22: Rozmístění vytvořených charakteristických řezů

Zdroj: vlastní

Obr. 23: Charakteristické řezy - příčné profily P1- P5

Zdroj: vlastní

Obr. 24: Zaměření zájmového území totální stanicí LEICA TPS1200

Zdroj: vlastní

Obr. 25: 3D vizualizace zájmové oblasti vytvořená na základě mapování pomocí GPS

Zdroj: vlastní

Obr. 26 Charakteristický řez - příčný profil P1

Zdroj: vlastní

Obr. 27: Geologický vrt V-11

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Obr. 28 Geometrie matematického modelu řezu P1 – stávající stav

Zdroj: vlastní

Obr. 29 Výstup matematického modelu - stávající stav - průběh smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 30 Výstup matematického modelu - stávající stav - výřez smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 31: Výstup matematického modelu - stávající stav - absolutní posuny

Zdroj: vlastní

Obr. 32: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - průběh smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 33: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - průběh smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 34: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - absolutní posuny

Zdroj: vlastní

Obr. 35: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační var. A - průběh smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 36: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta A - výřez smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 37: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta A - absolutní posuny

Zdroj: vlastní

Obr. 38: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta B - průběh smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 39: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - sanační varianta B - absolutní posuny

Zdroj: vlastní

Obr. 40: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu - varianta C - průběh smykové plochy

Zdroj: vlastní

Obr. 41: Výstup matematického modelu - extrémní situace - hladina podzemní vody nastoupaná na úroveň terénu – sanační varianta C - absolutní posuny

Zdroj: vlastní

12 Seznam tabulek

Tab. 1: Získaná data z mapování pomocí GPS

Zdroj: vlastní

Tab. 2: Materiálové charakteristiky použité pro matematický model stávajícího stavu

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Tab. 3: Materiálové charakteristiky použité pro matematický model sanačních opatření

Zdroj: <http://www.geology.cz>

Tab. 4: Srovnání stupňů stability vypočtených z jednotlivých matematických modelů

Zdroj: vlastní